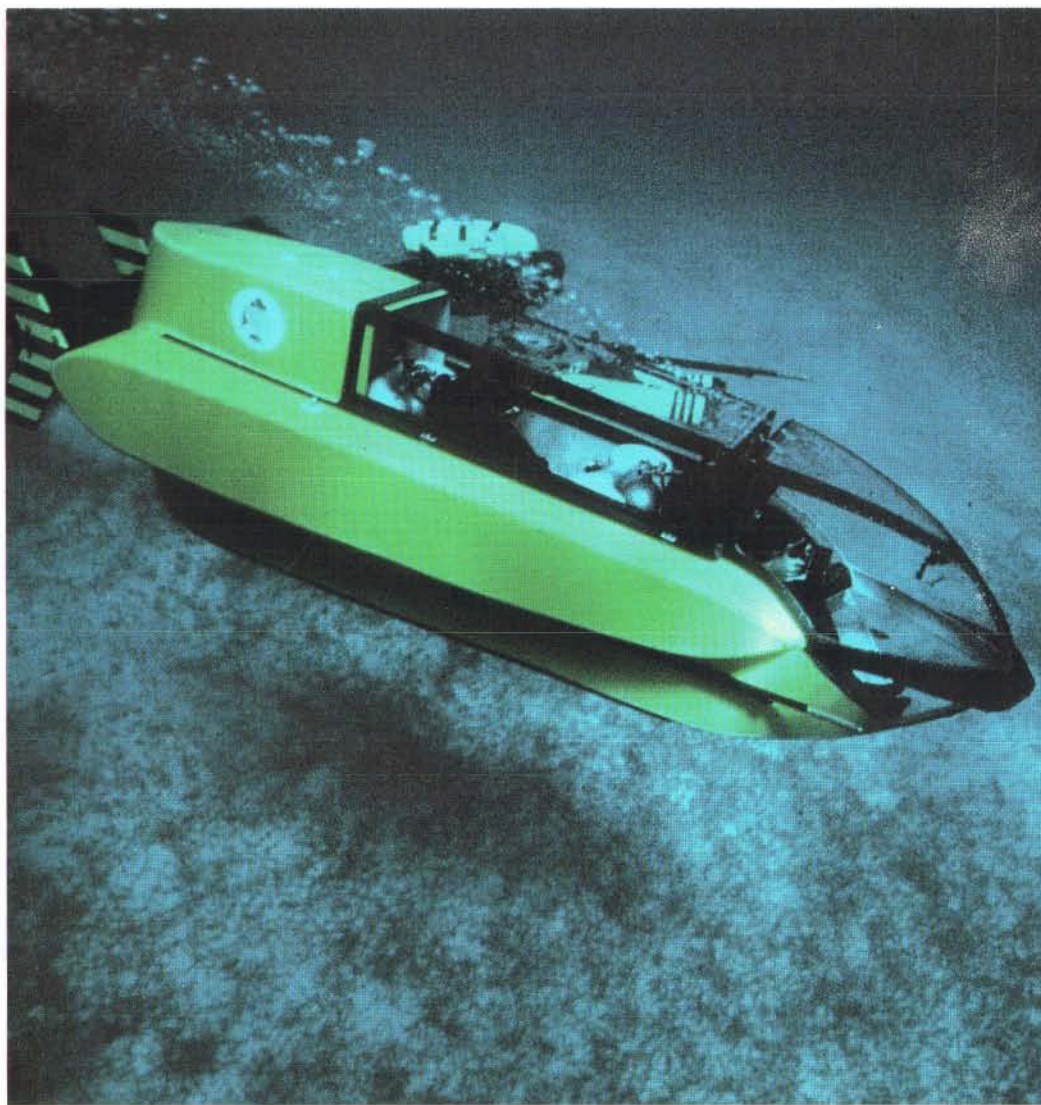


8

55^e jaargang

NATUUR '87 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



HELITUIGEN/WATERHUISHOUDING/OCEANOGRAPHIE/FIETSEN/
POLYMEREN/STERKE KERNKRACHT



LOGIGRAMMEN-MAKERS

**KEESING UITGEVERS-
MAATSCHAPPIJ B.V.,**
uitgever van o.a. *Keesing Historisch Archief*, de onderwijsbladen *Reflector*, *Blik-opener* en *Antenne*, de Denksport-puzzelbladen en de LOGI-reeks,

zoekt voor haar tijdschriften met logische problemen free-lance medewerkers die enkele dagen per maand kunnen besteden aan het maken van logigrammen. De werkzaamheden worden thuis verricht.

Inlichtingen kunt u inwinnen bij drs. Angeline Jansen, hoofdredacteur LOGI-reeks, tel. 020-647233.

Logigrammen zijn logische problemen waarin twintig onderwerpen op grond van slechts enkele gegeven relaties met elkaar in verband gebracht worden.

Logigrammen zijn puzzels waarin u behalve logisch denken ook woordspelingen en persiflages op actuele gebeurtenissen kwijt kunt.

Logigrammen kunt u zien als een vorm van recreational mathematics in de ruimste zin van het woord.

Om voor dit werk in aanmerking te komen is het noodzakelijk dat u logigrammen kunt oplossen. Dit is overigens snel te leren. Op aanvraag zenden wij u graag een boekje toe. Affiniteit met wiskunde en/of logica is een vereiste.



KEESING
UITGEVERSMAATSCHAPPIJ

NATUUR '87 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 9,25 of 175 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

De oceanografie is een zeer veelzijdig vak: fysici, chemici, biologen en geologen bestuderen vanuit hun eigen invalshoek de verschijnselen die zich in de zee voordoen. Soms duiken ze letterlijk in hun studie-object. Meer en meer maken ze echter gebruik van satellieten en andere geavanceerde technieken. Daarover kunt u meer lezen op pag. 680 e.v.

(Foto: Sygma/ABC-press, Amsterdam)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein,

Drs C.F.M. de Roos, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P.

Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M.

v.d. Heijden, Ir F. Van Hulst, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse,

Dr D. De Keuleleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk,

Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M.

Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluy-

ser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr J. H. Oort, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-van den Heuvel, M. Verreijt, E. Vijgen.

Druk: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-1223*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

AUTEURS	IV
HOOFDARTIKEL	617
Wetenschap in dienst	

DE MACHT	618
----------	-----

Het vermogen van de fietser

G.J. van Ingen Schenau

De snelheid van een fietser hangt nauw samen met het gemiddelde vermogen dat de berijder van de fiets kan leveren. Dit vermogen wordt voornamelijk aangewend om wrijving te overwinnen. In de overbrenging van de propulsiekracht naar de aarde gaat slechts weinig vermogen verloren in het afzetmechanisme zelf, waardoor het uithoudingsvermogen van de fietser en het geleverde mechanische vermogen rechtstreeks in verband is te brengen met factoren die de wrijving beïnvloeden. Met een dergelijke vermogensvergelijking zijn factoren die de lucht- en rolwrijving beïnvloeden uit te drukken in hun effect op snelheid.

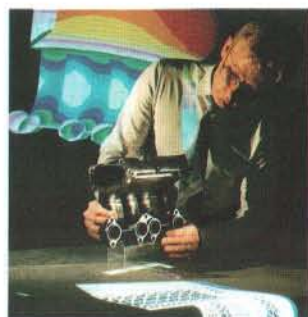


POLYMEERCHEMIE	624
----------------	-----

Ordenen van lange molekulen

H. Berghmans

Polymere zijn lange ketenvormige molekulen met vaak zeer specifieke eigenschappen. Ze vinden allerwege toepassing in onze moderne samenleving. Het meest opvallend zijn natuurlijk de vele soorten plastics die we voortdurend om ons heen zien. In de industrie bestaat tegenwoordig zo'n grote kennis van de eigenschappen van de synthetische polymeren dat ze niet alleen als 'klassieke plastics' gebruikt worden. Ze kunnen ook omgevormd worden tot zeer interessante nieuwe materialen met hoge toegevoegde waarde.



HELITUIGEN	646
------------	-----

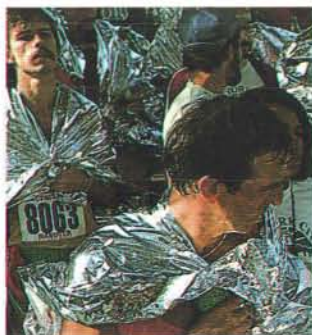
B. van der Klaauw

Vrijwel alle vliegtuigen hebben een start- en landingsbaan nodig om het luchtruim te kiezen, respectievelijk te verlaten. Helikopters hebben die niet nodig en de voordelen daarvan zijn algemeen bekend. Helikopters hebben echter belangrijke nadelen; ze zijn duur en langzaam. Vandaar dat constructeurs al jaren op zoek zijn naar toestellen die stijgen en dalen als helikopters en vliegen als vliegtuigen. Dat wordt onder andere gerealiseerd door de motorgondels die zijnn aangebracht aan de uiteinden van de vleugels, te kantelen. Wordt de helikopter vervangen door een echt hefschroefvliegtuig?



NATUUR '87 & TECHNIEK

augustus/ 55^e jaargang/1987



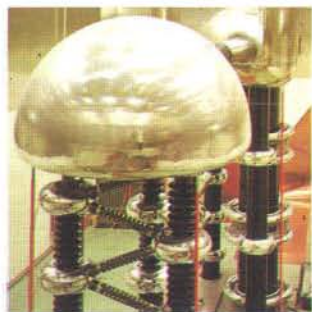
KOEL WATER

654

Vochtregulatie bij inspanning

J. Willems

Water speelt een belangrijke rol bij allerlei lichaamsprocessen. Omdat ons lichaam zelf water niet in voldoende mate produceert, moet voortdurend aanvulling plaatsvinden via de voeding. Een vochttekort kan ernstige gevolgen hebben: afgezien van een verminderde zuurstoftoevoer via het bloed, bestaat er gevaar voor oververhitting. Wanneer door vochtverlies het lichaamsgewicht meer dan 2% vermindert, neemt het prestatievermogen al aanwijsbaar af. Tijdige aanvulling kan de lichaamstemperatuur binnen de perken houden.

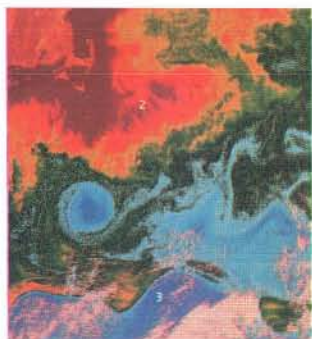


DE STERKE KERNKRACHT

666

R.A. Kunne

De vraag uit welke elementen materie is opgebouwd is zo oud als de wetenschap zelf. Het zoeken naar een antwoord ging gepaard met een gestage toename van het aantal elementaire deeltjes. Om de interacties tussen die deeltjes te kunnen begrijpen, was het nodig om het bestaan van bepaalde kernkrachten te veronderstellen. Wat we ons moeten voorstellen bij zo'n kernkracht wordt uit de doeken gedaan aan de hand van de sterke kracht, die ervoor zorgt dat de afstotende krachten tussen de positief geladen protonen overwonnen worden.



ZEESTROMEN EN KLIMAAT

680

Globaal gedetailleerd

R. Frassetto

Zeestromen zijn voor de scheepvaart van groot belang. De bestudering ervan vormde de aanzet tot de ontwikkeling van de oceanografie. Thans staat vooral de zeewatercirculatie en de wisselwerking daarvan met de atmosfeer, de kust en de zeebodem in de belangstelling. Dank zij het toenemend aantal teledetectiesatellieten en een nauwere internationale samenwerking zal men er steeds beter in slagen om veranderingen in de loop van zeestromen, de invloed van de mens daarop en de gevolgen voor het wereldklimaat, te voorspellen.

ANALYSE EN KATALYSE

688

De B.V. MIT/Een moleculair-biologisch monument/België tegen de malariamug

ACTUEEL

700

Vragen/Prijsvraag/Foto van de Maand

706

Dr ir G.J. van Ingen Schenau ('De Macht') is 13 september 1944 in Leiden geboren. Hij studeerde natuurkunde aan de TH Delft. Na zijn afstuderen in 1973 trad hij in dienst van de interfaculteit Lichamelijke Opvoeding van de Vrije Universiteit in Amsterdam waar hij zich vooral bezig houdt met biomechanica. Hij promoveerde in 1981.

Prof dr H. Berghmans ('Polymeerchemie') is geboren in Merksplas op 1 januari 1940. Hij studeerde scheikunde aan de Katholieke Universiteit in Leuven, waar hij in 1966 promoveerde. Sinds 1980 is hij als gewoon hoogleraar verbonden aan het Laboratorium voor Polymeerchemie van die universiteit.

B. van der Klaauw ('Helituigen') werd op 15 februari 1921 in Wassenaar geboren en behaalde in 1940 het diploma gymnasium- α . In 1945 trad hij in dienst van de KLM. Vijf jaar later begon hij als free-lance luchtvaartjournalist. Van 1962 tot 1984 was hij lid van de redactie van het blad 'Avia', vanaf 1971 als hoofdredacteur.

Dr J.Th.J.M. Willems ('Koel water') werd geboren op 16 januari 1943 te Arnhem. Hij studeerde van 1962 tot 1968 biologie en massacommunicatie aan de Katholieke Universiteit Nijmegen, waar hij in 1976 promoveerde. Van 1969 tot 1977 was hij redacteur wetenschappen bij de Gelderlander Pers. Sinds 1978 is hij cursusleider van het practicum populariseren van natuurwetenschappen aan de KUN.

Drs. R.A. Kunne ('Sterke kernkracht') is geboren in Hilversum op 29 april 1957. Hij studeerde natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam van 1975 tot 1982. Daarna werkte hij bij het Nederlands Instituut voor Kernfysica en Hoge-Energie Fysica (NIKHEF) aan een LEAR-experiment. Sinds kort is hij verbonden aan de Universiteit van Genève; hij verricht zijn werkzaamheden bij CERN.

R. Frassetto ('Zeestromen') is sinds 1969 directeur van het Laboratorio per lo Studio Dinamica Grandi Masse-CNR in Venetië. Dit instituut houdt zich bezig met de geofysische en milieuproblemen van de stad Venetië, en met de grootschalige oceanografie die in het artikel beschreven wordt.

Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

AIDS

De ziekte AIDS (Acquired Immune Deficiency Syndrome) neemt onderhand de vorm van een epidemie aan. Het aantal mensen dat drager van het virus is neemt gestaag toe; het aantal mensen dat daadwerkelijk ziek wordt eveneens. AIDS-patiënten vertonen een sterke vermindering van de weerstand tegen infecties. Ze sterven vaak aan aandoeningen die bij een gezond immuunsysteem geen kans zouden krijgen. Rond de medische en maatschappelijke aspecten van AIDS bestaat nog veel verwarring. Dit cahier biedt op een wetenschappelijk verantwoorde wijze inzicht in deze aspecten.

Inhoud en auteurs

AIDS en syfilis

Drs F.A. Stemvers

De AIDS epidemie

Dr A.A. van Es

Het ziektebeeld

Dr S.A. Danner

De speurtocht naar de verwekker van AIDS

Dr P. Bentvelzen

Nederlands onderzoek op grote schaal

R.A. Coutinho

Bloedtransfusie en AIDS

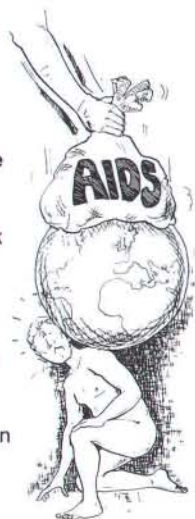
Prof dr V.P. Eijvoogel

Gevolgen voor de homo-cultuur

Drs J.W. van der Linden

Voorlichting en preventie

Drs H. Moerkerk



Het cahier AIDS, compleet met een bijlage met de nieuwste ontwikkelingen, kan besteld worden bij Natuur en Techniek - Informatiecentrum - Postbus 415, 6200 AK Maastricht, tel. 043-254044, vanuit België: 00-3143254044. Het kost f 7,50 (145 F).

Wetenschap in dienst

Een beetje naijend op de grote hoeveelheden vrije tijd die de meesten onzer net achter de rug hebben, vinden we in dit nummer niet minder dan twee artikelen over wetenschappelijk onderzoek in verband met sportprestaties. Op pag. 618 begint G.J. van Ingen Schenau een artikel over de biomechanica van het fietsen. Op pag. 654 vinden we een stuk van J. Willems over wat in wetenschappelijke termen iets zou kunnen zijn als de vochthuishouding van humane objecten bij langdurige bovengemiddeld energiegebruik, in praktische taal gaat het over de vraag hoeveel en wat een marathonloper moet drinken.

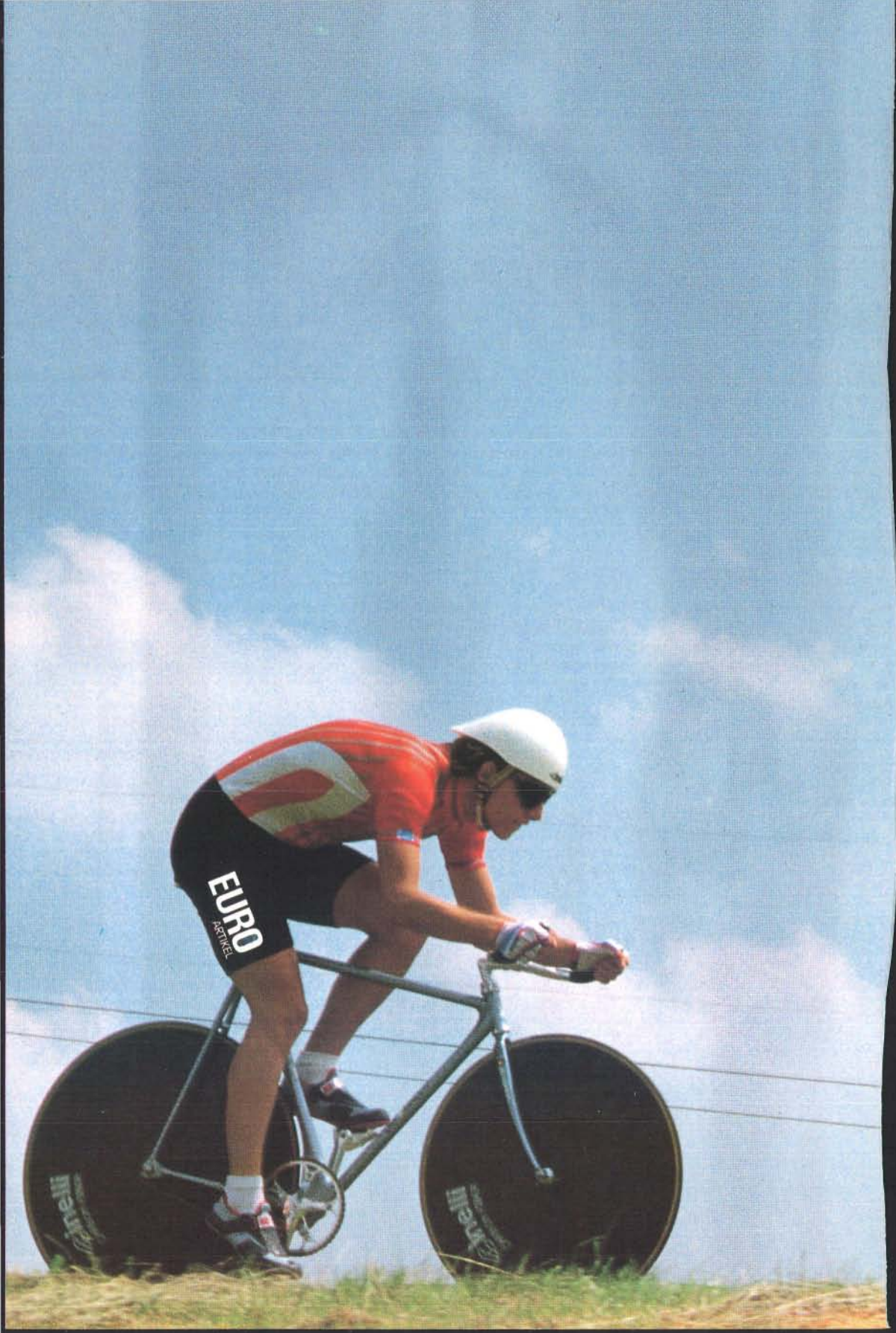
Het zijn voorbeelden van een vrij grote hoeveelheid onderzoek, die zeker een deel van de verklaring vormt voor het anders moeilijk te doorgronden gegeven dat het allemaal blijkbaar altijd nog weer net een beetje sneller of harder of verder kan — en dat terwijl men moeilijk zal kunnen volhouden dat de lichaamskracht van de bevolking gemiddeld toeneemt. We zien dan ook een sterke specialisatie: het is vrijwel onmogelijk zowel op de honderd meter als op de vijfduizend meter aan de top te staan. In meer facetten omvattende sporten (voetbal, triathlon) worden geen prestaties geleverd die met die van specialisten in de afzonderlijke onderdelen kunnen worden vergeleken.

Juist aan de superspecialisten van de sport kan de wetenschap doelmatig advies verstrekken. De vraag: 'Hoe kan ik zo hard mogelijk lopen?' lijkt nauwelijks voor onderzoek toegankelijk. De vraag: 'Hoe kunnen die en die spieren gedurende zo en zoveel tijd tot maximaal presteren worden gebracht?' kan in beginsel langs wetenschappelijke weg worden beantwoord. Op die manier stuurt de wetenschap de sportsman of -vrouw in de richting van superspecialisatie. Dat is, evenzeer als het verhogen van de prestaties, een bijdrage van de wetenschap aan de sportwereld.

Hoewel er wel wat voorbeelden zijn van onderzoek waarbij sportbeoefenaars als proefpersonen fungeerden, is waarschijnlijk in het algemeen de bijdrage van de sport aan de wetenschap tamelijk beperkt. De sport is er voor zichzelf, behoeft verder niets en niemand te dienen, vormt zijn eigen rechtvaardiging. Dat is in allerlei opzichten voor de wetenschap steeds minder het geval.

Men merkt dat in het overheidsbeleid, maar ook in de houding van veel studenten. Wetenschap moet ergens goed voor zijn, een ander doel dienen dan zichzelf: de economie, de volksgezondheid, het bestuursapparaat, de sport. Dit houdt in, dat in toenemende mate van onderzoekers wordt verwacht dat ze hun werk ondergeschikt maken aan die 'eigenlijke', externe doeleinden.

Voor zover deze ontwikkeling reëel aanwezig is — en de verschuivingen binnen de geldstroom en de belangstelling van studenten wijzen in die richting: er is bij sommige studierichtingen een tekort aan promovendi — dient ze met wantrouwen te worden gezien. Niet alleen zou het een grote verarming betekenen als kennisverzameling niet meer als cultureel goed zou gelden, het zou op den duur zelfs nadelig worden voor de externe doeleinden wanneer het onderzoek alleen zou worden gericht op de oplossing van de actuele problemen.



G.J. van Ingen Schenau
Vrije Universiteit
Amsterdam

Het vermogen van de fietser

De snelheid van een fietser hangt nauw samen met het gemiddelde vermogen dat de berijder van de fiets over een bepaalde afstand kan leveren. Dit door training te beïnvloeden vermogen, wordt voornamelijk aangewend om wrijving te overwinnen. In de overbrenging van de propulsiekracht naar de aarde via pedaal, ketting en achterwiel gaat slechts weinig vermogen verloren in het afzetmechanisme zelf, waardoor het uithoudingsvermogen van de fietser en het geleverde mechanische vermogen rechtstreeks in verband is te brengen met factoren die de wrijving beïnvloeden. Met een dergelijke vermogensvergelijking zijn factoren die de lucht- en rolwrijving beïnvloeden uit te drukken in hun effect op snelheid. Op deze wijze is bijvoorbeeld de invloed op de snelheid, en dus de prestaties van wielrenners, na te gaan van het gewicht van de fiets, de houding van de berijder, de hoogte boven zee-niveau en het rijden in groepen.

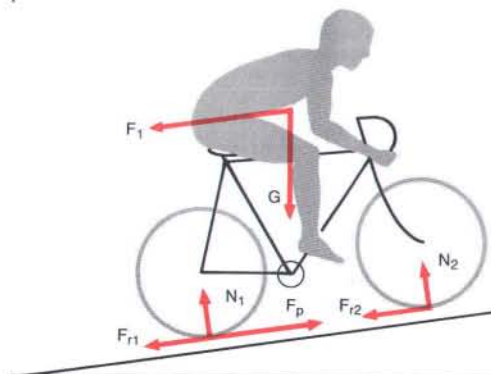
DE MACHT

Als we spreken over de mechanica van het fietsen, dan zal men in eerste instantie geneigd zijn te denken aan constructie-technische aspecten van de fiets. Ook aan de berijder van de fiets kunnen echter een aantal wetmatigheden worden onderkend. De tak van wetenschap die zich met dit type modelleringen van het menselijk (en dierlijk) bewegen bezighoudt, wordt de *biomechanica* genoemd.

Indien we berijder en fiets opvatten als één systeem dan kunnen we dit op verschillende manieren beschrijven. We kunnen bijvoorbeeld een vergelijking van uitwendige krachten opstellen, of een impulsvergelijking, dan wel een vermogensvergelijking. Met de keuze van het fietser-fietsysteem liggen de in- en uitwendige grootheden in principe vast. Bij het opstellen van een krachtenvergelijking aan de hand van de tweede hoofdwet van Newton vinden we de van buiten het systeem aangrijpende krachten als weergegeven in afbeelding 1. Dit betreft de luchtwrijvingskracht F_l op het gehele systeem, de rolwrijvingskrachten F_{r1} en F_{r2} op achter- en voorwiel, de normaalkrachten N_1 en N_2 op de wielen, de zwaartekracht G op het gehele systeem en de propulsiekracht F_p op het achterwiel. Spierkrachten en kracht op de pedalen zijn in dit systeem inwendige krachten en spelen derhalve bij de beschrijving van het systeem geen rol. Ze hebben uiteraard wel invloed, wat zich ondermeer uit in F_p . Twee vergelijkingen kunnen nu worden opgesteld voor een algemeen geval waarin tegen een helling met hellingshoek α wordt opgefietst. Voor de voortbewegingsrichting geldt:

$$F_p - F_r - F_l - G \sin \alpha = ma \quad (1)$$

1



Voor de richting loodrecht daarop:

$$N - G \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

In deze vergelijkingen zijn de rolwrijvingskrachten en de normaalkrachten uit afbeelding 1 samengevat tot F_r en N .

Bij een gegeven constante snelheid ($ma = 0$) dient de voortstuwende kracht F_p gelijk te zijn aan de som van de luchtwrijvingskracht, de



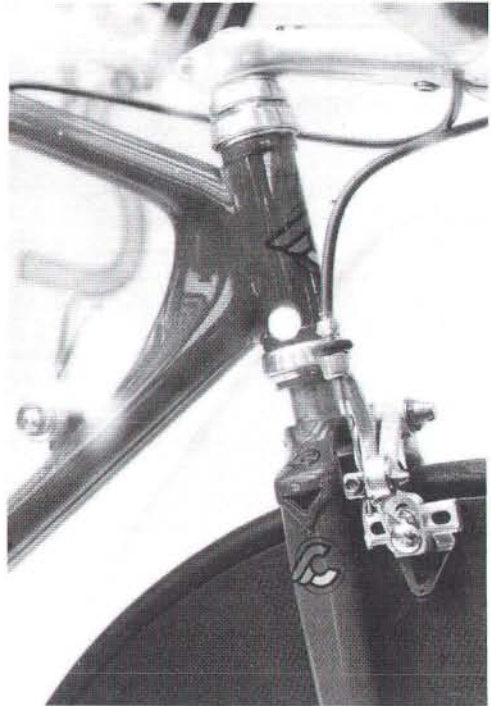
2

1. De krachten die van buiten op het systeem fietser-plus-fiets aangrijpen als hij tegen een helling onder hoek α oprijdt. Wanneer het systeem als één geheel wordt beschouwd zijn dit allemaal uitwendige krachten.

rolwrijvingskracht en de component van de zwaartekracht in de bewegingsrichting. Net als bij door motoren voortbewogen systemen geeft zo'n krachtenvergelijking op zich weinig bruikbare informatie. Voor we (1) echter omvormen tot een meer bruikbare vermogensvergelijking, is het noodzakelijk om enig inzicht te hebben in de aard van de afzonderlijke krachten uit deze bewegingsvergelijking.

2. Het omgekeerde coureurspetje was jarenlang het summum van de aerodynamica in het wielerveleton. Pas de laatste acht jaar is daar verandering in gekomen toen Hinault met zijn ploeg op speciaal geconstrueerde aerodynamische fietsen verscheen.

3. Behalve aan de luchtweerstand sleutelt men tegenwoordig aan de rolweerstand. Betere tubes en bandjes zijn het resultaat, maar ook deze tijdritfiets met massieve banden is een probeersel. Ter compensatie is er vering ingebouwd: de grote vraag is of die minder energie absorbeert dan luchtbandjes.



3

De rolwrijving

Rolwrijving ontstaat doordat de band tijdens het rollen als het ware voortdurend tegen de weg opbotst. Vooral botsingen tegen oneffenheden in het wegoppervlak zijn van invloed. Daarbij worden in de band en soms ook in de ondergrond deformaties teweeg gebracht. De rolwrijvingskracht is in eerste benadering te beschrijven conform de bekende relatie voor contactwrijving:

$$F_r = \mu N \quad (3)$$

met μ de rolwrijvingscoëfficiënt en N de nor-

maalkracht tussen band(en) en weg. Deze relatie geldt onafhankelijk van het aantal wielen voor het gehele systeem. De rolwrijvingscoëfficiënt is omgekeerd evenredig met de diameter van het wiel en hangt verder af van de breedte van de band, de druk in de band en de aard van het wegoppervlak.

De luchtweerstand

De luchtweerstandskracht omvat twee componenten, de wrijvingsweerstand en de vormweerstand. Wrijvingsweerstand ontstaat doordat luchtlagen met verschillende snelheden

langs elkaar glijden en kracht op elkaar uitoefenen. Aangezien de lucht op het oppervlak van fiets en renner wordt meegevoerd bestaat er tussen deze lucht en de omgevingslucht een gradiënt van verschillende lichtsnelheden. De wrijvingsweerstand wordt sterk beïnvloed door de ruwheid van het oppervlak. Het bekende snelle of gladde pak (ook wel: skinpak) heeft ten doel om deze wrijvingsweerstand te verlagen. De vormweerstand bestaat door het drukverschil voor en achter de renner. Dit drukverschil komt tot stand door een snelheidsverschil van luchtgrenslagen voor en achter het lichaam. Deze grenslagen blijken zich achter het lichaam niet netjes te sluiten, zoals bij kleine lichamen en lage snelheden het geval is, maar vertonen snelle turbulente wervelingen. Volgens de wet van Bernoulli leidt dit snelheidsverschil tot een drukverschil, de zogenaamde stuwdruk. Bij een relatieve snelheid v van de renner ten opzichte van de lucht, bedraagt deze stuwdruk:

$$p = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (4)$$

met ρ de dichtheid van de lucht ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Vermenigvuldigen we deze stuwdruk met het oppervlak dat door de aanstromende lucht wordt gezien (de doorsnede A_p van renner en fiets loodrecht op de bewegingsrichting), dan krijgen we een kracht op de renner die een maat is voor de lucht-wrijvingskracht. De mate van turbulentie en daarmee samenhangende zogvorming hangt echter sterk af van de stroomlijn van het lichaam. Vandaar dat in de vergelijking nog een dimensieloze term wordt opgenomen die met name de stroomlijn kwantificeert: de vormweerstandcoëfficiënt C_D . In

de tabel worden enkele C_D -waarden weergegeven. Voor de totale lucht-wrijving, dus inclusief de wrijvingsweerstand, wordt meestal de volgende relatie gegeven:

$$F_l = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A_p = k_1 v^2 \quad (5)$$

Bedenk echter dat in C_D niet alleen de stroomlijn maar ook bijvoorbeeld de aard van het oppervlak verwerkt is.

De propulsiekracht

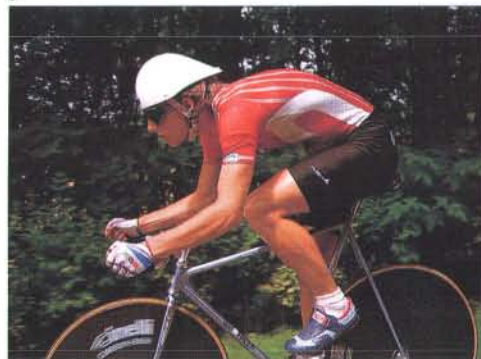
De laatste van de in afbeelding 1 getekende krachten waar we enige extra aandacht aan moeten besteden is de kracht die we nodig hebben om tegenwerkende krachten te overwinnen. Deze voortstuwende of propulsiekracht komt tot stand als reactie op de kracht die het achterwiel op de aarde uitoefent. Door de keuze van de tandwielverhouding, het *verzet*, ten onrechte soms 'versnelling' genoemd, zorgt de renner voor een optimale overbrenging van zijn spierkracht naar de afzetkracht tegen de aarde. Dit afzetten tegen een ander lichaam is essentieel voor elk zichzelf voortbewegend systeem (dus voor elke vorm van locomotie) waarbij wrijving moet worden overwonnen. Ook essentieel is dat de propulsiekracht, de reactie op de afzetkracht, zich tijdens de afzet nooit in voorwaartse richting kan verplaatsen. In dat geval zou immers de omgeving vermogen (= kracht x snelheid van het aangrijpingspunt van de kracht) aan het systeem toevoegen, hetgeen per definitie bij locomotie niet het geval is.

Bij fietsen is dit wat moeilijker in te zien dan bij lopen. Het lijkt alsof de propulsiekracht continu in voorwaartse richting wordt verplaatst. Men moet echter bedenken dat in het

4



5





6

4 en 5. De tijdrijder zoals we hem meestal nog zien (4), vooral bij amateurwedstrijden, en dezelfde wielrenner op een tijdritfiets die optimaal voor dit specialisme is ontworpen (5). Het nieuwe materiaal is niet langer voorbehouden aan de profs. De kapitaalcrachtige amateur kan in de racefietsenwinkel zijn eerste seconden winst op de concurrentie boeken.

6. In de Tour de France van 1986 baarde Thierry Marie opzien met vleugeltjes op zijn stuur en aan zijn zadel. Hij won de proloog op de zo uitgedoste fiets. Het gebruik ervan werd daarna verboden. Marie verraste niet alleen zijn collega's, ook de fotograaf drukte iets te vroeg af: de speciale zadelconstructie is niet vastgelegd.

TABEL. Enkele luchtweerstandscoefficienten

	C_D
Toerfiets	1,00
Wielrenner	0,80
Ligfiets	0,75
Bolvorm	0,43
Racewagen	0,25
Druppelvorm (meest ideaal)	0,10

contactpunt tussen band en weg, de band stilstaat ten opzichte van de weg. Het wiel is in wezen te zien als een systeem met miljoenen voetjes die allen achter elkaar even tegen de weg afzetten. Zo zien we in dat het wiel er voor zorgt dat steeds nieuwe afzetposities worden bereikt zonder dat dit afzetmechanisme zelf veel energie vergt.

Bij lopen gaat echter veel energie zitten in het versnellen van de benen bij het naar voren zwaaien. Bij het afremmen van de benen gaat het merendeel van deze mechanische energie weer verloren. Dit is de belangrijkste reden waarom we op de fiets een veel hogere snelheid kunnen bereiken dan hardlopend.

De vermogensbalans

Bij het fietsen wordt de snelheid niet zozeer door de grootte van de spierkracht maar veel meer door het gemiddeld vermogen bepaald. Vandaar dat we (1) om gaan vormen tot een vermogensvergelijking.

Afbeelding 1 geeft van het systeem renner plus fiets de uitwendige krachten. Als uitwendig vermogen P_f is nu gedefinieerd het vermogen dat door het systeem aan de omgeving wordt geleverd. Hiertoe dienen dus alle uitwendige krachten met de snelheden van hun respectievelijke aangrijpingspunten te worden vermenigvuldigd. De som van de termen levert P_f . Bij constante fietssnelheid v geldt dan:

$$P_f = \frac{1}{2} \rho A_p C_D (v + \Delta v)^2 v + \mu N v + G \sin \alpha \cdot v \quad (6)$$

met Δv de snelheid van de lucht ten opzichte van de aarde (wind). F_p speelt zoals gezegd in deze vergelijking geen rol omdat de snelheid van het aangrijpingspunt van F_p nul is. De laatste term in (6) onderscheidt zich van de twee voorgaande termen door het feit dat dit vermogen niet verloren gaat maar bijdraagt aan de verandering van de potentiële energie van het systeem. Als nu het door de renner geleverde vermogen P_0 niet gelijk is aan de P_f zal het verschil $P_0 - P_f$ resulteren in een verandering $m \Delta v$ (met a de versnelling) van de kinetische energie (en dus van de snelheid) van het systeem:

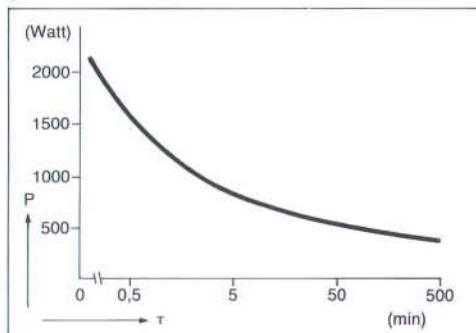
$$P_0 - \frac{1}{2} \rho A_p C_D (v + \Delta v)^2 v - \mu N v - G \sin \alpha \cdot v = m \Delta v \quad (7)$$

Dit is de zogenaamde *vermogensbalans* waarmee verder gewerkt wordt.



7

8



Conditie en vermogen

Spieren zijn bij de mens te beschouwen als de motoren die uiteindelijk het benodigde vermogen leveren. Onder geleide van het zenuwstelsel worden spieren geactiveerd waarbij ze kracht leveren en over een bepaalde afstand kunnen verkorten. Per fietscyclus wordt door met name de bil- en bovenbeenspieren een hoeveelheid arbeid A op de linker- en rechterpe-

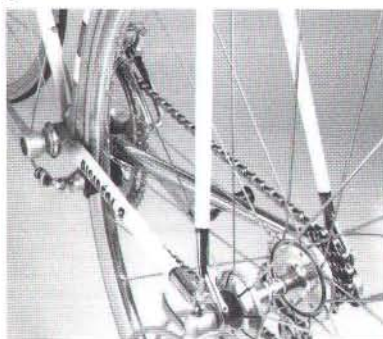
daal uitgeoefend. Bij gegeven cyclusfrequentie f betekent dit een geleverd vermogen ter grootte $P_0 = A \cdot f$. De geringe verliezen van ongeveer 3% in ketting en tandwielen worden buiten beschouwing gelaten. Bij de spiercontractie wordt de geleverde mechanische arbeid betrokken uit de energie-inhoud van energierijke fosfaten die in de spiervezels aanwezig zijn. Deze energierijke fosfaten worden uiteindelijk via glycogeen en vet, in extreme gevallen ook via proteïnen, uit het voedsel betrokken. Als de in de spiervezels aanwezige fosfaten op dreigen te raken, wat reeds na ongeveer 10 s het geval is, moeten ze worden aangevuld. Dit kan zonder toevoer van zuurstof via het *anaërobe metabolisme* en in aanwezigheid van zuurstof via het *aërobe metabolisme*.

Bij duursporten als wielrennen, wordt de prestatie met name begrensd door de capaciteit van de energie-aanvoer; dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld krachtsporten, waarbij vooral de absolute kracht die de spieren kunnen leveren de doorslag geeft.

De mate waarin spieren in staat zijn aëroob en anaëroob energierijke fosfaten aan te ma-

ken komt tot uitdrukking in de termen *fysieke conditie* of liever nog *uithoudingsvermogen*. Bij de mens kunnen we niet spreken van één vaststaand (uithoudings)vermogen. Het gemiddelde vermogen dat de mens maximaal kan leveren is afhankelijk van de tijdsduur waarover dat vermogen geleverd moet worden. Het aërobe metabolisme waarbij onder toevoer van zuurstof voedingsstoffen worden geoxydeerd is traag in vergelijking met het anaërobe systeem, waarbij gedurende beperkte tijd ook zonder zuurstof voeding kan worden geoxydeerd. Dit anaërobe metabolisme gaat gepaard met de produktie van melkzuur. Een te hoge concentratie van dit zuur in spieren en bloed werkt remmend op de prestatie van de spier. Bij een optimale prestatie zal dus de verzuring van de spieren binnen zekere, door training te beïnvloeden, grenzen moeten blijven. Eén en ander resulteert in het feit dat de mens over korte tijdsintervallen zeer hoge vermogens kan leveren terwijl dit gemiddeld vermogen sterk daalt naarmate de prestatie langer duurt. In afbeelding 8 is dit in beeld gebracht. Op de fiets kunnen getrainde renners in 10 s een ge-

9



9 en 10. Uit Amerika komen de meest avantgardistische fietsontwerpen. De speciaal gebogen zadelbuis dient om de afstand tussen voor- en achterwiel te verkleinen, wat een wendbaarder fiets levert. De wielen zijn radiaal

10

gespaakt, de spaken zijn dus niet kruislings gemonteerd, behalve aan de aandrijfkant. Al dit moois weegt echter nauwelijks op tegen een richeltje vet teveel op de heupen van de berijder.

7. Rini Wagtmans, een Nederlandse wielervedende, daalde als een duivel. We zien hem hier in aerodynamisch ideale houding de 2600 m hoge Galibrier afkomen.

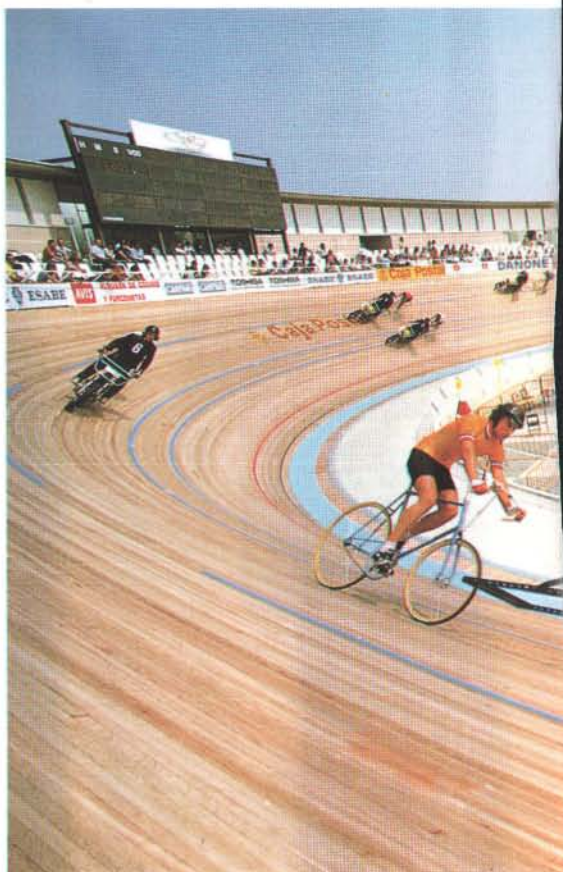
8. Het vermogen dat een topatleet kan leveren gedurende een bepaalde tijd τ . Let er op dat de tijdschaal logaritmic is.



middeld vermogen van 1500 Watt of zelfs nog hoger bereiken (± 2 pk). Over lange afstanden echter leveren ook profrenners niet meer dan zo'n 400 Watt. Een recreatieve fietser haalt gedurende een uur durende inspanning met moeite een gemiddelde van 100 Watt.

Naast het vermogen van spieren om anaëroob en aëroob energie vrij te maken, zijn nog vele andere factoren van invloed op het te leveren vermogen. Net als bij een motor betreft dit in de eerste plaats de overbrengingsverhouding. Bij gelijke voortstuwingskracht F_p , kan de renner door middel van zijn verzet het krachtniveau en het herhalingsritme van zijn spieren beïnvloeden. Spieren blijken het hoogste rendement te behalen bij een spierkrachtniveau dat beduidend lager ligt dan de maximale kracht. Vandaar dat renners kiezen voor een zodanig verzet dat de kracht op de pedalen op zo'n 50-80% van het lichaamsgegewicht ligt. Dit gaat dan gepaard met een cyclusfrequentie die afhankelijk van het op te brengen vermogen varieert van 60 omwentelingen·min⁻¹ bij lage vermogens tot zo'n 110 omw·min⁻¹ bij de hoogste vermogens. Recreative fietsers zitten meestal beduidend lager in ritme; in het algemeen kiezen deze rijders een te groot verzet.

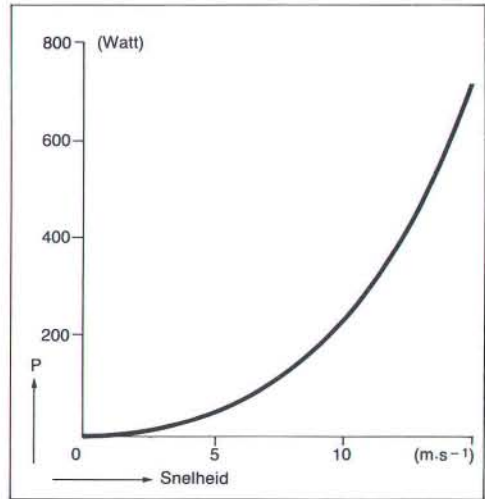
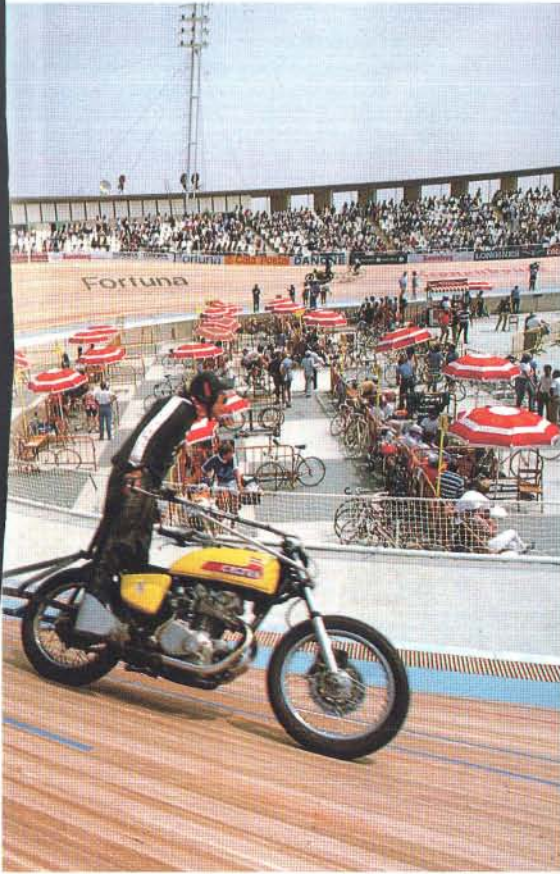
Een ander aspect betreft de lengte waarover de spieren verkorten. Deze werkingsrange wordt bepaald door de romphouding, de za-



12

11





13



14

11. Op de wielervedstrijd zijn diverse aerodynamische trucs tot apart onderdeel geworden. De ploegenachtervolging is er een voorbeeld van. De vier rijders die hier als de gebroeders Dalton over de baan gaan hebben alleen succes als ze tot in den treure het vlak achter elkaar rijden en de aflossingstechniek oefenden.

12. Bij de wedstrijd achter derny's zijn snelheden mogelijk waar een alleenrijdende coureur slechts van kan dromen. Wie 'de rol kwijtraakt' komt echter vol in de wind en kan een goede uitslag meestal vergeten.

13. Het uitwendige vermogen (P) dat een standaardrenner in de racehouding moet leveren om een bepaalde snelheid te handhaven.

14. De fiets waarop Francesco Moser het werelduurrecord verbeterde.

delhoogte en de cranklengte. Voor de meeste fietsen geldt, dat de door fabrikanten en trainers aanbevolen regels voor zadelhoogte en cranklengtes inderdaad het hoogste rendement geven. Bij goed gekozen afstellingen en verzet mag voor fietsen een rendement worden verwacht van ongeveer 20%. Dit betekent dat ongeveer 20% van de calorische waarde van het verbrande voedsel als mechanisch vermogen kan worden benut.

Een voorspellend model

Met behulp van de vermogensbalans (7) kunnen verschillende rekenexercities worden uitgevoerd. In de eerste plaats valt na te gaan welk vermogen een rijder moet leveren om een bepaalde gemiddelde snelheid te kunnen handhaven. Voor een rijder van 75 kg lichaamsge-

wicht en 1,80 m lengte die op een fiets van 9 kg in de racehouding rijdt over een vlakke weg bij windstil weer, kan (7) vereenvoudigd worden tot

$$P_0 = 0,19v^3 + 4v \quad (8)$$

met P_0 in Watts en v in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Deze vergelijking levert de gegeven vermogens als functie van snelheid (afb. 13). Voor klimmen kan deze vergelijking uiteraard aangevuld worden met

een term ter grootte $750\sin\alpha\cdot v$. Verdere gegevens die voor de zelfrekenende lezer wellicht interessant zijn en die in (8) zijn verwerkt: $\rho = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $A_p = 0,4 \text{ m}^2$; $C_D = 0,8$; $\mu = 0,0055$.

Volgens windtunnelexperimenten hangt het produkt $C_D\cdot A_p$ nauw samen met lichaamslengte l en -gewicht m van de renner, volgens $C_D\cdot A_p \sim l^3/m$. De luchtweerstand $0,19v^3$ kan voorts bij benadering worden gesplitst

Zijwind is tegenwind

Met name bij woon-school- of woon-werk-verkeer op de fiets, waarbij men heen en terug langs dezelfde weg fietst, valt het vaak op dat bij zijwind het net is alsof men op zowel heen- als terugweg de wind een beetje tegen heeft. Met enige kennis van de mechanica blijken velen, ook de biomechanici, de neiging te hebben dit gevoel te bestrijden. De mechanica leert immers dat bewegingen in drie onderling loodrechte richtingen ontbonden en beschreven kunnen worden. Zijwind, een wind dus met een richting loodrecht op de voortbewegingsrichting, zou dus de beweging in voorwaartse richting niet mogen beïnvloeden.

De denkfout die men maakt door te veronderstellen dat men bij een zijwind in voorwaartse richting niet meer (afzet)kracht (en dus ook niet meer vermogen) zou behoeven te leveren, zit in het vertalen van componenten van luchtsnelheid naar luchtweerstandskracht. De luchtweerstandskracht is evenredig met het kwadraat van de relatieve snelheid tussen de fietser en de lucht. Dit kwadratische verband is er debet aan dat men de componenten van de luchtweerstandskracht niet rechtstreeks uit de snelheidscomponenten van de zijwind en van de eigen snelheid mag afleiden.

Stel een fietser bezit een snelheid v ten opzichte van de weg en er staat een zijwind ter grootte Δv . De relatieve snelheid van de lucht ten opzichte van de fietser is dan gelijk aan de vectorsom van \vec{v} en $\Delta\vec{v}$ (afb. 1.1). De grootte hiervan bedraagt:

$$v_r = |\vec{v} + \Delta\vec{v}| = \sqrt{v^2 + \Delta v^2}$$

Als we de snelheidscomponenten rechtstreeks zouden mogen vertalen naar luchtweerstandskomponenten, dan zou in zijwaartse richting een

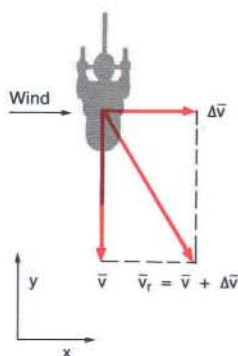


in $0,15 v^3$ voor de verliezen tussen renner en lucht en $0,04 v^3$ voor de verliezen tussen fiets en lucht. Tot slot zij gegeven dat de luchtdichtheid ρ evenredig is met de luchtdruk en bij toenemende hoogte h boven zeeniveau afneemt volgens een e-macht ($e^{-0,000125 h}$).

Met bovenstaande gegevens kunnen nu voorspellingen worden gedaan. De te volgen procedure is dat van verschillende factoren de invloed op de snelheid wordt doorgerekend.

Dit steeds onder de aanname dat alle andere factoren gelijk blijven.

Als de lezer bij narekening van onderstaande voorbeelden tot kleine afwijkingen komt, dan zal dit in de meeste gevallen het gevolg zijn van het feit dat onderstaande berekeningen zijn uitgevoerd aan de hand van een iets uitgebreider model waarin ook de (experimenteel bepaalde) afhankelijkheid van C_D van de snelheid is ondergebracht.



I-2

I-1. Uit het principe 'zijwind is tegenwind' blijkt dat ook bij zijwind het waaierrijden voordeel biedt, dit nog afgezien van het shieldingeffect.

I-2. Bij de bepaling van de luchtweijingskracht op een fietser die zijwind heeft, dient eerst de totale snelheid v_r van de lucht ten opzichte van de fietser te worden bepaald. Men mag Δv en v niet rechtstreeks doorrekenen naar componenten van deze wijingskracht.

component $F_x = k\Delta v^2$ en in achterwaartse richting $F_y = kv^2$ in rekening kunnen worden gebracht. In dat geval zou het uitwendig vermogen nodig om de luchtweijing te overwinnen gelijk zijn aan $P_y = F_y v_y = kv^3$; immers de snelheid van de fietser in de x-richting is nul. Dit vermogen zou dan niet verschillen van dat wat nodig is bij windstil weer. Echter, men kan de stuwdruk uit de wet van Bernoulli niet zomaar splitsen in richtingen. De druk moet uit de totale relatieve snelheid berekend moet worden. Dit betekent: de snelheidscomponenten eerst optellen en dan pas invullen. De luchtweijingskracht die dan gevonden wordt bedraagt:

$$F_l = kv_r^2 = k(v^2 + \Delta v^2)$$

Deze kracht heeft de richting van \vec{v}_r . Het vermogen kan nu berekend worden door deze kracht in de x- en y-richting te ontbinden en te vermenigvuldigen met de snelheden in die richtingen (definitie van het scalaire produkt $\vec{F}_l \cdot \vec{v}$). We vinden dan voor het vermogen:

$$P_y = \frac{v}{\sqrt{v^2 + \Delta v^2}} k(v^2 + \Delta v^2) = kv \sqrt{v^2 + \Delta v^2}$$

Dit vermogen is altijd groter dan kv^3 voor $\Delta v \neq 0$. Wiskundig gezien komt het probleem er dus op neer dat eerst kwadrateren en dan optellen iets anders is dan eerst optellen en dan kwadrateren.

Bij een zijwind die even groot is als de voorwaartse fietssnelheid moet men ruim 40% meer vermogen leveren dan zonder wind. Als $\Delta v = \frac{1}{2}v$ dan moet men nog steeds zo'n 12% meer vermogen leveren en bij $\Delta v = \frac{1}{4}v$ nog 3%.

Het gevoel waarvan in de aanvang van dit intermezzo wordt gesproken kent dus een mechanische basis: zijwind wordt terecht ervaren als tegenwind.

I-1



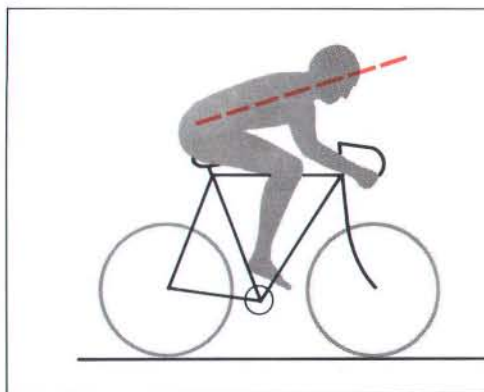
15

15. In het hooggebergte neemt de luchtweerstand af en zijn dus hogere snelheden mogelijk. De klimmende fietser zal er niet veel van merken. De inspanning bij klimmen is nodig om omhoog te komen en dalen is meer een kwestie van oppassen niet te hard een bocht in te gaan.

16. Door kanteling van het frame kan een aerodynamisch gezien optimalere romphouding worden bereikt zonder het werkingstraject van de spieren te beïnvloeden.

17. Klimmers trekken zich weinig van de luchtweerstand aan. Goede klimmers, zoals hier de Columbiaan Herrera, staan bijna recht overeind als ze hard bergop rijden.

16



Het gewicht van renner en fiets

Enkele jaren geleden verbeterde de Italiaan Moser met een drastisch veranderde fiets (klein voorwiel, groot achterwiel, dichte wielen, ossekopstuur) het werelduurrecord. Tot dat moment ging de belangstelling in de wielwereld voor wat de fiets betreft voornamelijk uit naar gewicht en stroomlijn van het frame. Afgezien van een mogelijk psychologisch effect, lag deze aandacht biomechanisch gezien niet erg voor de hand. Andere factoren zoals de houding van de romp en het kledingoppervlak blijken een aanzienlijk grotere invloed op de snelheid te hebben. Om de gedachten te bepalen: vergelijken we een fiets van 9 kg met een superlichte fiets van 6 kg, dan is te berekenen dat men met de lichtere fiets ongeveer 0,15% sneller zal kunnen rijden. Het gewicht van de renner tikt iets meer aan: een zelfde gewichtsverschil (3 kg) geeft aanleiding tot een snelheidsverschil van 0,6%. Hierbij is rekening gehouden met de invloed op luchtweerstand. Beide berekeningen gelden voor het fietsen op een vlakke weg. Bij het klimmen is de invloed van het gewicht veel groter.

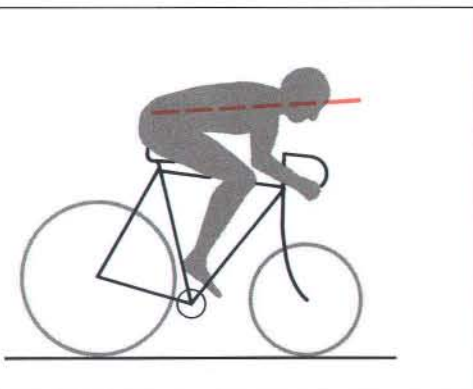
De houding van de romp

De houding van de romp ten opzichte van de verticaal heeft grote invloed op het produkt $A_p \cdot C_D$. Gebaseerd op windtunnelexperimenten uitgevoerd bij schaatseren, kan de orde van grootte bepaald worden van variaties in romphouding op de fietssnelheid. Het windtunnelonderzoek liet zien dat 10° afwijking van de

optimale horizontale stand, de luchtweerstand op schaatseren in de schaatshouding met ruim 10% deed toenemen. Aangezien de relatieve bijdrage van de benen in het frontale oppervlak van wielrenners kleiner is dan van schaatseren bij dezelfde romphouding, mag verwacht worden dat de invloed van romphouding op de renner (zonder fiets) minstens zo groot is. Doorgerekend naar snelheid betekent dit een verlies van $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (dus bijna $2\frac{1}{2}\%$) per 10° uitwijking uit de optimale stand. Daar renners op normale racefietsen vaak romphoudingen tot 30° uitwijkingen uit de horizontaal innemen, zal duidelijk zijn dat hier vaak nog aanzienlijke snelheidswinst valt te boeken. Op normale racefietsen is het echter vaak niet gemakkelijk om de romp gedurende lange tijd zo laag te houden; de bovenbenen komen tegen de romp; de armen moeten gebogen gehouden worden. Men kan echter op dit gebied veel bereiken door het gehele frame enigszins voorover te kantelen.

Shielding

Door vlak achter een voorganger te kruipen, kan de luchtweerstand tot 40% worden vermindert. In een groep kan men derhalve bij een bepaald gemiddeld vermogen een hogere snelheid handhaven dan wanneer men alleen over de weg gaat. Als de leden van de groep een evenredig deel van het kopwerk verrichten en als men optimaal gebruik maakt van de slipstream van de voorganger, dan voorspelt de vermogensvergelijking dat men met twee man ongeveer 5% en met vijf man een ongeveer



17



18. De human powered vehicles floreren vooral in de Verenigde Staten. Het zijn meestal ligfietsen met een kunststof overkapping die een goede stroomlijn geeft.

19. Voor gebruik op de weg zijn de omhulde driewielers niet geschikt. Hun bezitters maken onderling wel graag uit wie de snelste is.



19

18



10% hogere snelheid kan bereiken in vergelijking met de situatie waarin de eenzame fietser zich bevindt. Dit effect verklaart geheel waarom ontsnappingen uit het peleton, zelfs indien het een zeer sterke renner betreft, meestal mislukken als er geen andere renners meegaan, of ploeggenoten het tempo in het peleton ontregelen.

De luchtdichtheid

Op zeeniveau kunnen als gevolg van lage- en hogedrukgebieden niet onaanzienlijke variaties in de luchtdichtheid voorkomen. Met na-

me voor het rijden van een tijdrit op een overdekte baan, bieden perioden met lage druk voordelen. Gegeven de luchtdrukvariaties die in Nederland en België kunnen voorkomen, kunnen op zo'n baan verschillen in snelheid tot zo'n 2% verklaard worden uit verschillen in luchtdruk. Vergelijk daartoe aan de hand van (7) de snelheid bij 970 millibar met de snelheid bij 1040 millibar.

Bij toenemende hoogte boven zeeniveau neemt de luchtdichtheid snel af. Per 100 m hoogteverschil mag een verschil van bijna 0,2% in snelheid verwacht worden. Tot zo'n 1500-2000 m hoogte staat hier geen negatief effect tegenover, als althans enige tijd voor acclimatisatie in acht wordt genomen. Naarmate men hoger komt, zal echter ook de verminderde zuurstofconcentratie een rol gaan spelen. Boven de 1500-2000 m geeft dit aanleiding tot een verlaging van het aërobe aandeel in het geleverde vermogen. Niettemin is de hoogte waarop men optimale snelheid kan bereiken vermoedelijk ook voor de wat langere afstanden gelegen op een hoogte tussen de 2500 m en 3000 m.

Human powered vehicles

Geweldige snelheidswinst kan worden geboekt indien de gehele renner en fiets wordt omgeven



20

20. Klassiekerkoning Jan Raas probeert weg te komen uit een vluchtgroepje. Zelfs Raas zou het niet bolwerken als de renners achter hem eendrachtig zouden samenwerken. Dat gebeurt hier niet. De voorste man in het groepje wil nog wel, maar kan niet meer en moet nodig afgelost worden. In tweede positie rijdt echter een ploeggenoot van Raas: die neemt de kop niet over. De renner links van hem passeert juist maar moest uit derde positie komen. In het voorbijgaan zal hij wel iets onaardigs zeggen. Al met al breekt zo iets het tempo in zo'n groepje, waardoor de vluchter kans heeft weg te blijven. Koersinzicht en ploegentactiek zijn ook in zo'n geval vaak beslissend.

door een sigaar- of druppelvormig omhulsel. Hoewel dit het gewicht en de loodrechte doorsnede vergroot, geeft een dergelijke ideale stroomlijn (C_D in de orde van 0,15) toch een sterke verlaging van de luchtweerstand. Vooral bij constructies waarbij ook de loodrechte doorsnede laag wordt gehouden door de renner in een liggende positie te zetten, kunnen snelheden worden bereikt die ver uitstijgen boven de snelheden die voor een normale racefiets haalbaar zijn. Het snelheidsrecord voor een racefiets over 200 m met vliegende start staat op zo'n $72 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Hetzelfde record voor een volledig omhulde ligfiets is al ruim $91 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Met zo'n fiets is zelfs met een relatief gering vermogen van 150 Watt een snelheid te handhaven van ruim $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Of dergelijke vehikels in de toekomst een rol zullen gaan spelen in het normale verkeer is nog moeilijk te voorspellen, de grote zijwindgevoeligheid is nog een groot probleem, vandaar dat er voornamelijk op parcoursen gereden wordt.

De praktijk

De praktische betekenis van bovenstaande berekeningen kent uiteraard beperkingen. Wielrennen vindt meestal plaats in groepsverband waarbij in het algemeen niet de renner wint die het hoogste geleverde vermogen paart aan een

minimalisatie van de wrijvingsverliezen, maar veeleer de slimste renner met het beste koersinzicht. Dit alles neemt niet weg dat het bovenstaande laat zien dat langs de weg van de biomechanica ook aan het menselijk bewegen mechanische wetmatigheden kunnen worden onderkend.

Literatuur

- Clarijs JP en GJ van Ingen Schenau (red.), Wielrennen. Een confrontatie tussen de wetenschap en de praktijk van het wielrennen. Lochem/Gent: Uitgeverij De Tijdstroom, 1985. ISBN 90-352-1006-9.
- Kuipers H. Uitputting en recuperatie. De fysiologie van extreme inspanningen. *Natuur & Techniek* 1986; 54: 8, 640-654.
- Het tijdschrift *Fiets* besteedt maandelijks aandacht aan alles wat de sportieve fietser boeit.

Bronvermelding illustraties

- Tony Strouken, Munstergeleen: pag. 618-619, 2, 4, 5, 7, I-1, 15, 20.
- Cor Vos, Hoogvliet: 6, 11, 12, 14, 17.
- Dries Ketelaar, Amsterdam: 3.
- Archief tijdschrift *Fiets*: 9, 10, 18, 19.

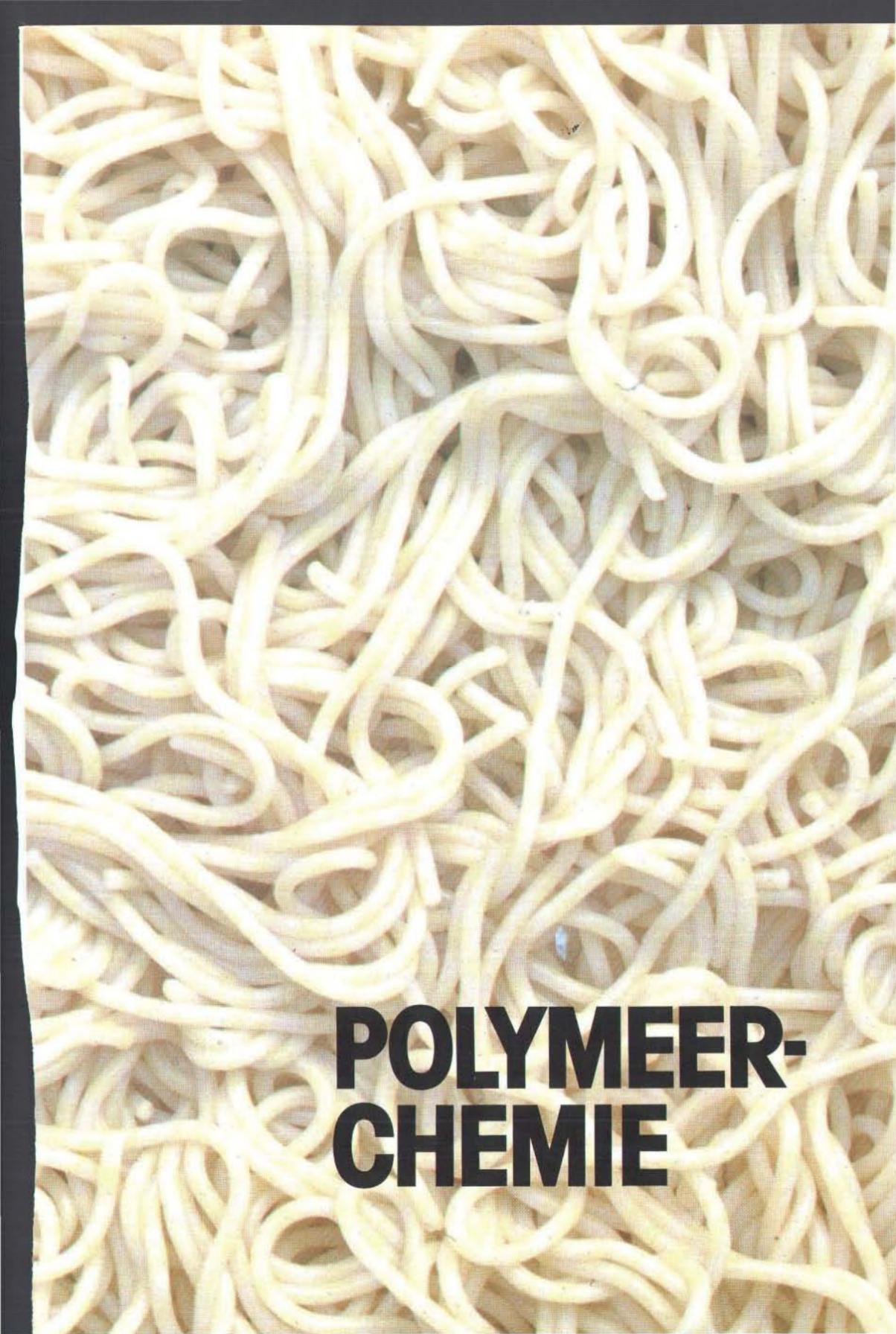


Ordenen van lange molekulen

Polymeren zijn lange ketenvormige molekulen met vaak zeer specifieke eigenschappen. Ze vinden allereerste toepassing in onze moderne samenleving. Het meest opvallend zijn natuurlijk de vele soorten plastics die we voortdurend om ons heen zien. Op onvermoede plaatsen vinden we tegenwoordig nieuwe kunststoffen: in auto-onderdelen, kozijnen en vliegtuigen.

Polymeren beschouwen we meestal als kunststoffen. Alle levende organismen ontleen echter hun vorm, stevigheid en bestaan aan biopolymeren als DNA, proteïnen en koolhydraten. In de industrie bestaat tegenwoordig zo'n grote kennis van de eigenschappen van de synthetische polymeren dat ze niet alleen als 'klassieke plastics' gebruikt worden. Ze kunnen ook omgevormd worden tot zeer interessante nieuwe materialen met hoge toegevoegde waarde.

H. Berghmans
*Katholieke Universiteit
Leuven*



**POLYMEER-
CHEMIE**

Polymeren zijn lange, ketenvormige molekulen opgebouwd door het aaneenschakelen van een groot aantal kleine molekulen, monomeren genaamd. Enorm veel verschillende polymeren worden door de chemische industrie vervaardigd en hebben onder de noemer plastic of kunststof hun intrede gedaan in de moderne samenleving.

Wanneer we echter in de natuur rondkijken kunnen we al snel vaststellen dat het gebruik van lange molekulen geen vondst van het menselijk intellect is. Er bestaan duizenden verschillende biologische polymeren die vooral worden gebruikt in het proces van opslaan en doorgeven van genetische informatie (DNA, RNA) en als eenvoudige steunverlenende molekulen (cellulose). Zelfs het principe van vezelversterkte composietmaterialen kan men reeds bij insecten terugvinden.

Heel wat van de karakteristieken die verder in deze uiteenzetting aan bod zullen komen met betrekking tot de synthetische polymeren zijn dan ook terug te vinden bij deze biologische systemen. Om het gedrag van polymeren, dat duidelijk afwijkt van dat van kleine molekulen, goed te begrijpen is het nodig zich een duidelijk beeld te vormen van de structuur van deze lange ketenmolekulen.

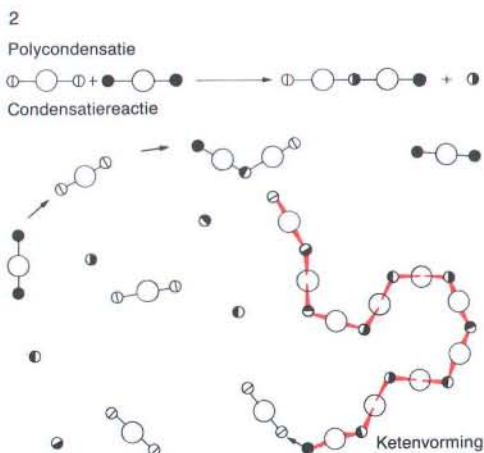
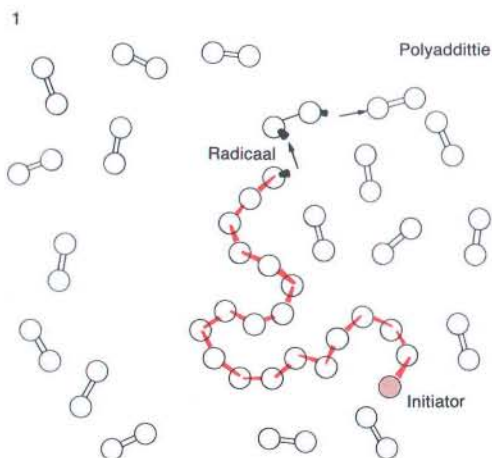
Kluwen of kristal

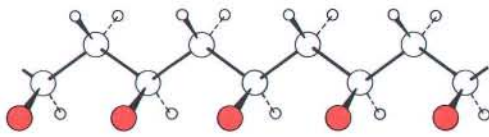
Polymeren bestaan altijd uit kleinere eenheden die met specifieke polymerisatiereacties aan elkaar worden geknoopt. De meeste polymeren ontstaan door twee belangrijke polymerisatie-

mechanismen. In de eerste plaats is er de additiepolymerisatie. De meeste industriële polymereerreacties van dit type verlopen volgens een radicaalmechanisme. Hierin wordt een dubbele binding in de monomeer opengemaakt waardoor de mogelijkheid ontstaat deze kleine deeltjes aan elkaar te schakelen (afb. 1). Typische voorbeelden zijn polyetheen, polyvinylchloride en polystyreen. Naast dit mechanisme zijn ook addities via anionische en kationische reactiemechanismen mogelijk, maar die nemen echter op industriële schaal nog geen belangrijke plaats in.

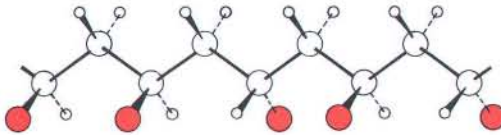
Een tweede belangrijk mechanisme is de polycondensatie. Hierbij worden de monomeren aan elkaar geschakeld terwijl kleine molekulen afsplitsen. Een dergelijke reactie leidt bijvoorbeeld tot de vorming van polyesters en polyamides (afb. 2).

Het exacte beeld van een polymeer kan goed geïllustreerd worden aan de hand van polyetheen. Het is het eenvoudigste additiepolymeër, samengesteld uit een groot aantal etheenmolekulen, $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ (afb. 1). Als we een molekuul nemen met een molekuulmassa van 280000 D, dan zijn er ongeveer 10000 monomeren aaneengeschaakeld. De lengte van de gestrekte zigzagvormige keten is dan 0,00255 mm. De gemiddelde diameter van een dergelijk molekuul is echter slechts enkele tienden van miljoenen van een millimeter. Deze anisotrope dimensies zijn verantwoordelijk voor de zeer specifieke eigenschappen van polymeren. Gezien de afmetingen zou het mogelijk moeten zijn deze molekulen te bekijken met

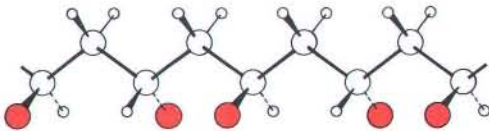




A Isotactisch



B Atactisch



C Syndiotactisch



3

1. Een polyadditiereactie. Een radicaal op het uiteinde van een zich vormende keten reageert met de dubbele binding van etheen. Er is een eerste radicaal nodig om een ketenvorming te starten.

2. Schematische voorstelling van een polycondensatie. Twee verschillende molekulen reageren met elkaar onder afsplitsing van een klein molecuul.

3. Stereo-isomeren van vinylpolymeren. De ordening rond het asymmetrisch koolstofatoom heeft grote invloed op de eigenschappen van het molecuul.

een optische, en zeker met een elektronen-microscop. De molekulen blijken echter praktisch nooit in deze gestrekte vorm voor te komen. In de gesmolten toestand of in oplossing komen ze in een kluit voor, terwijl in de vaste toestand de conformatie sterk afhangt van het al of niet kristalliseerbaar zijn van de stof. Wanneer deze niet kristalliseert wordt de kluitvorm teruggevonden bij verdampen van het oplosmiddel van een verdunde oplossing.

Wanneer het polymeer wel kan kristalliseren zal, ook weer door de langgerekte vorm van de polymeren het gedrag complexer zijn, zoals nog zal blijken.

Vergelijking met laagmoleculaire stoffen

Om het gedrag van polymeermaterialen te begrijpen is het interessant vergelijkingen te maken met de eigenschappen van de ons beter bekende laagmoleculaire stoffen.

Kleine molekulen kunnen in drie hoofdtoestanden voorkomen: vast, vloeibaar en als gas. Tussen vast en vloeibaar bevindt zich nog de vloeibaar kristallijne toestand. Hoewel deze meer en meer aan belang wint en ook bij polymeren voorkomt, zullen we er in dit artikel geen aandacht aan besteden en ons aan de hoofdovertgangen houden. De vaste fase is meestal kristallijn en vertoont dus een grote graad van ordening. Deze gaat grotendeels verloren bij de overgang naar de vloeibare fase door smelten. Hierin hebben de molekulen een veel grotere graad van beweeglijkheid. Bij het overgaan naar de dampfase gaat de intermoleculaire relatie verloren en bewegen de deeltjes praktisch vrij van elkaar. Afkoelen resulteert in een omgekeerd doorlopen van de cyclus. Condenseren wordt bij verder afkoelen gevolgd door kristalliseren. Gezien hun grote molekulmassa komen polymeren niet in de gasfase, maar alleen voor in de vaste en de vloeibare toestand.

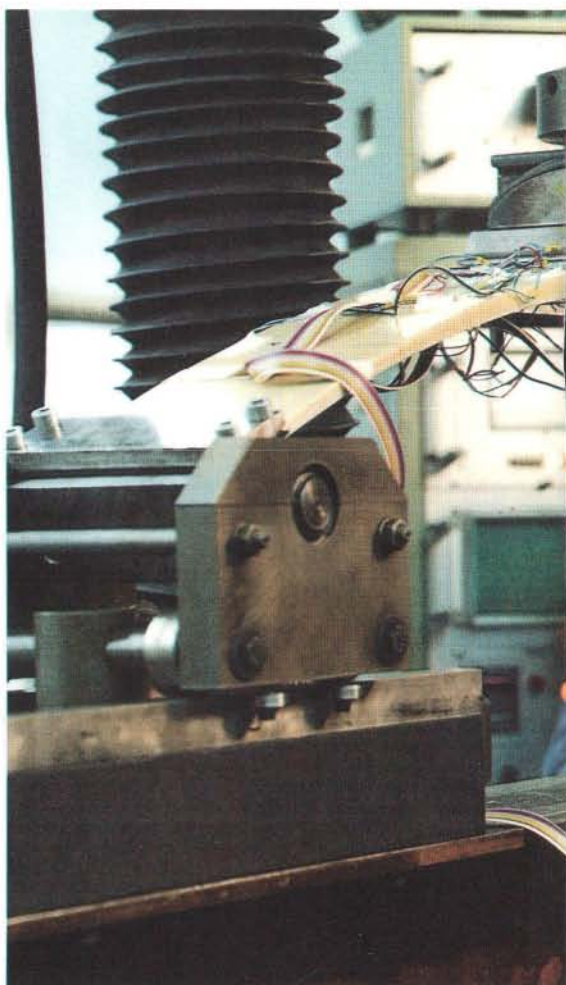
Wanneer we polymeren in hun vaste toestand beschouwen doet zich bijna altijd een complicatie voor. Heel wat van de industrieel verwerkte materialen zijn immers amorf en worden nooit in één of andere kristallijne vorm gevonden. Dit is het gevolg van het gebrek aan inwendige orde in de ketenstructuur. Tot de amorfe polymeren behoren in de eerste plaats de meeste klassieke vinylpolymeren, die als gevolg van de synthesesmethode een onregelmatige keten hebben. Dergelijke polymeren zijn namelijk vaak opgebouwd uit monomeren waarin tijdens de polymerisatiereactie een asymmetrisch koolstofatoom ontstaat, zoals bijvoorbeeld in propen ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$). Daardoor zal bij het opbouwen van de keten de substituent (CH_3 -groep) zich langs één van beide zijden van het vlak van de keten plaatsen. Wanneer deze plaatsing steeds langs dezelfde kant van het vlak van de keten gebeurt spreekt men van een isotactisch polymeer (afb. 3A) terwijl een alternerende plaatsing een syndiotactisch polymeer geeft (afb. 3C). Polymeren die uit een radicaalreactie ontstaan geven meestal een atactische structuur, zodat de



4



5



6

meeste van de zo bereide polymeren niet kristalliseerbaar zijn. Een uitzondering hierop is wel polyetheen, dat, gezien de symmetrie van de monomeereenheid, steeds uit een regelmatige keten bestaat. Daarom wordt polyetheen dan ook altijd in de kristallijne vorm gebruikt. Ook polypropreen kan industrieel als een zeer regelmatige isotactische keten worden gemaakt en is daarom ook als kristallijn produkt voorhanden.

Ook polycondensaten zoals polyester en polyamides hebben steeds een regelmatige ketenstructuur waardoor ze in de industrie eveneens meestal in de gekristalliseerde vorm gebruikt worden.

4 en 5. Een conventionele produktiemethode voor polymeren is het spuitgieten. Na in de vorm te zijn gespoten wordt de stof gehard, ofwel door verwarmen (thermoharders) ofwel door koelen (thermoplasten).

6. Steeds vaker worden kunststoffen gebruikt in combinatie met andere materialen als glas- of koolstofvezels. De bladveer die hier wordt getest is een kunststof/glasvezel met betere eigenschappen dan de traditionele stalen bladveren.

7. Het gedrag van molekulen beneden en boven de glasovergangstemperatuur (T_g). Bij een temperatuur lager dan T_g trillen de molekulen rond een vaste plaats. Is het molecuul warmer dan T_g dan kunnen ook rotaties rond de bindingen optreden, waardoor de keten van vorm kan veranderen en het materiaal zacht wordt, of zelfs gaat vloeien.

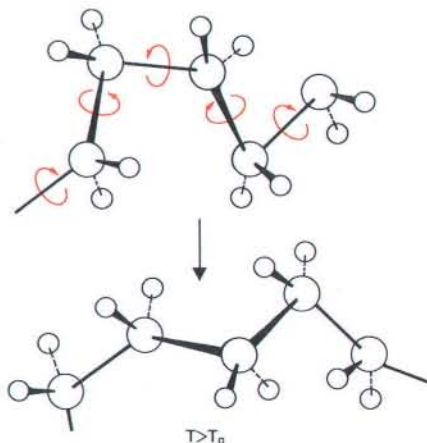
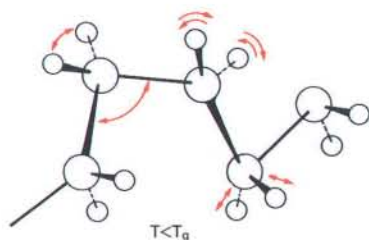


Amorfe polymeren

Wanneer men te doen heeft met een niet-kristalliseerbaar polymeer zal de vaste toestand altijd de structuur van een glas hebben. Kristalliseerbare systemen kunnen daarentegen als glas en als kristal in de vaste toestand gevonden worden. Hun aggregatietoestand hangt onder meer af van de snelheid waarmee ze uit hun gesmolten toestand afgekoeld worden. In een amorfe glastoestand is er weinig intermoleculaire ordening en hebben we een structuur die sterk lijkt op een vloeistof. Dergelijke materialen zijn dan ook meestal transparant. De lange molekulen zijn in elkaar verstrengeld zoals een massa gekookte en uitgedroogde spaghetti. Wanneer men zo'n structuur in detail bekijkt dan stelt men vast dat de ketens, als waren ze 'ingevroren', onbeweeglijk op hun plaats blijven liggen. De interne bewegingen zijn hoofdzakelijk vibraties van de atomen rond hun evenwichtsposities (afb. 7). In bepaalde polymeren kunnen ook, bij niet te lage temperatuur, duidelijke bewegingen van zijgroepen optreden. Een polymeer in de glastoestand is dan ook een hard materiaal en kan dienst doen voor het aanmaken van plastic voorwerpen. De ervaring leert ons echter dat het verwarmen ervan aanleiding kan geven tot een verweking met verlies van vorm. Iedereen heeft al wel eens het dramatisch effect van een te warme vloeistof op een plastic beker vastgesteld.

De temperatuur waarbij deze vervorming zich voordoet heet de *glasovergangs-* of *verwe-*

7



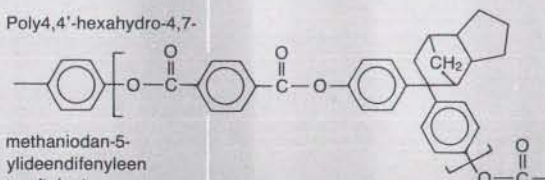
kingstemperatuur (T_g). Bij het overschrijden van deze temperatuur stelt men op moleculaire schaal een belangrijke toename van de moleculaire beweeglijkheid vast. De ketensegmenten gaan bewegen door rotaties om de bindingen in de hoofdketen. Bij voldoende hoge temperatuur verplaatsen hele molekulen zich, zodat moleculaire vloeï optreedt. Bij die temperatuur ligt dan ook de verwerkingstemperatuur, omdat dan persen en extrusie vormveranderingen tot gevolg hebben.

De T_g is een belangrijke industriële parameter omdat hij de temperatuurslimiet voor het gebruik van het materiaal aangeeft. De waarde kan variëren van -125°C tot boven 300°C ,

afhankelijk van het materiaal en de bereidingswijze. T_g zal bijvoorbeeld stijgen wanneer zijgroepen worden aangebracht waardoor de moleculaire mobiliteit vermindert (zie tabel). Het bestaan van de 'verwekingstemperatuur' T_g maakt ook dat sommige materialen thermoplastisch zijn. Ze verweken bij opwarmen en worden weer stijf bij afkoelen. Indien geen afbraak optreedt, kan dit meerdere malen herhaald worden.

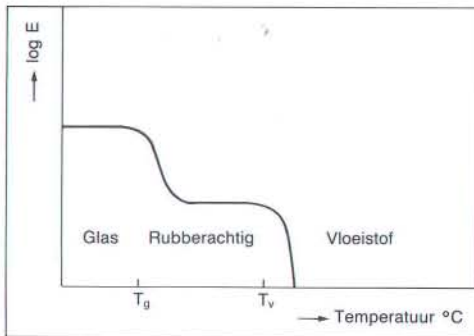
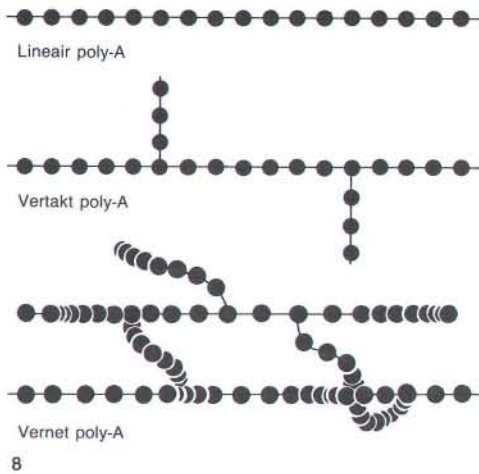
Deze temperatuursafhankelijkheid van de moleculaire beweeglijkheid heeft ook een zeer grote invloed op het vervormingsgedrag van polymeren. Bij het aanleggen van een buigspanning over een stuk polymeer beneden

TABEL. Glasovergangstemperatuur van enkele polymeren

Polymeer	Repeteereenheid	$T_g(^\circ\text{C})$
Polyethyleen	$-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-$	-125
Siliconrubber	$-(\text{O}-\text{Si}-\text{CH}_3)_n-$	-123
Polystyreen	$-(\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5))-$	100
Polymethylmethacrylaat	$-(\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{COOCH}_3))-$	105
Polycarbonaat-bisfenol-A	$-(\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}(=\text{O})_2-)$	150
Poly(2,6-dimethylfenyleenoxyde) (PPO)	$-(\text{C}_6\text{H}_2(\text{CH}_3)_2-\text{O})_n-$	195
Poly4,4'-hexahydro-4,7-methaniodan-5-ylideendifenyleen tereftalaat		320

8. Polymeren hebben verschillende eigenschappen wanneer ze lineair, vertakt of onderling met elkaar verbonden zijn. Eenzelfde monomeer kan door het kiezen van verschillende reactieomstandigheden vaak tot ieder van die vormen gepolymeriseerd worden.

9. De elasticiteitsmodulus (E) is een goede maat voor het fysisch gedrag van polymeren. In de figuur is een typisch verloop van de logaritme van E met de temperatuur weergegeven.



de verwerkingstemperatuur T_g zal men voor het bereiken van een beperkte vervorming een grote kracht moeten uitoefenen. Het materiaal reageert met een langzame vormaanpassing door een herschikken van moleculaire segmenten. Dit 'kruipverschijnsel' van ketens en bindingen illustreert de uitgesproken visco-elastische natuur van polymeren.

Naar de realiteit vertaald betekent dit dat plastics meer en meer gaan vervormen onder constante belasting. Als gevolg hiervan worden belangrijke beperkingen opgelegd aan hun gebruik in bijvoorbeeld bouwconstructies. Kwantitatief is het effect uit te drukken in de *elasticiteitsmodulus* E die afhankelijk is van tijd en temperatuur. De elasticiteitsmodulus geeft de verhouding tussen de aangelegde spanning en de daaruit voortvloeiende vervorming. Zijn evolutie met de temperatuur bij constante meettijd is een zeer goede maat voor het fysisch gedrag van polymeren. Duidelijk

zijn dan de verschillende toestanden te zien (afb. 9).

Toch worden amorphe polymeren vaak boven de verwerkingstemperatuur gebruikt. Indien men boven de T_g het uitvloeien van de ketenmolekulen kan beletten, ontstaan er eveneens zeer belangrijke materialen, namelijk de rubbers. Dit effect kan men realiseren door het onderling verbinden van de polymere molekulen. Als de temperatuur van het rubberpolymeer boven T_g ligt, zullen de ketens zeer beweeglijk en vervormbaar zijn. Het polymeer kan door de los bewegende molekuulketens zeer goed meegeven met een aangelegde uitwendige kracht, maar zal toch nauwelijks van vorm veranderen omdat de molekulen op enkele plaatsen aan hun buren vastzitten. Bij verwijderen van de uitwendige kracht zal de initiële kluwenconformatie weer aangenomen worden: de rubber herwint zijn oorspronkelijke vorm. Dit resulteert in een praktisch constante modulus boven T_g .

Voor een goede rubber is de graad van verknoping van het polymeer van cruciaal belang. Zijn er meer dwarsverbindingen, dan wordt het materiaal stijver en dus minder vervormbaar. Een typisch voorbeeld is het vernetten van natuurlijk rubber met zwavel. Dit proces staat bekend als *vulcaniseren* en werd in 1839 door Goodyear geïntroduceerd.

Kristallijne polymeren

Gekristalliseerde polymeren bevatten nog steeds variabele hoeveelheden van de amorphe fase. Men zegt wel dat de *kristalliniteit* van kristallijne polymeren varieert. De variatie kan tussen de 10 en 90% liggen. De amorphe gebieden hebben eigenschappen die analoog zijn aan een volledig amorf polymeer. De kristallijne fase daarentegen zal ongeveer de karakteristieken van laagmoleculaire kristallen vertonen, maar met toch nog duidelijke verschillen. Polyetheen blijkt het best kristalliseerbaar te zijn. Een goed kristalliseerbaar polymeer moet naast de vereiste ketenregelmaticheid ook een zeer regelmatige ketenconformatie kunnen aannemen. Een isotactisch polymeer zal zich daarbij dikwijls in een helixconformatie stabiliseren, terwijl een syndiotactisch eerder een zigzagconformatie vormt.

Belangrijke afwijkingen met kristalliseerbare laagmoleculaire materialen doen zich bij

polymeren voor bij het netjes ordenen van de relatief zeer lange molekulen in het kristalrooster. De molekulen zouden gestrekt naast elkaar moeten liggen, maar dat is onder normale omstandigheden onmogelijk. Uit een verdunde oplossing ontstaan bijvoorbeeld plaatvormige kristallen die in een lamelstructuur geordend zijn. De plaatjes hebben afmetingen van micrometers (afb. 12, 13, 14 en 15). De ketens staan loodrecht op het vlak, terwijl de dikte ervan slechts 5 tot 20 nm meet. Dit is veel minder dan de totale moleculaire lengte. De ketens zullen zich dus moeten terugplooien om in het kristal ingebouwd te worden. Dit heeft tot gevolg dat tussen deze platen steeds een min of meer belangrijke amorfe zone aanwezig is, zodat er een semi-kristallijn materiaal ontstaat.

Er bestaan inmiddels kristallisatiemechanismen waarbij met kunstgrepen de molekulen toch zeer geordend in het kristal terechtkomen. Bij het uitvoeren van een kristallisatie onder invloed van een stromingsveld wordt bijvoorbeeld de zogenaamde 'shish-kebab' structuur gevormd.

Kristallisatie heeft een belangrijke invloed op de uiteindelijke eigenschappen van polymeer materialen. In de eerste plaats zal het temperatuurgebied waarin de materialen bruikbaar zijn uitgebreid worden. Het smeltpunt T_v zal steeds ver boven T_g gelegen zijn. Dit smeltpunt wordt op de eerste plaats bepaald door de dikte van de lamelstructuur. Die hangt weer af van de temperatuur waarbij de kristallisatie uitgevoerd wordt en van de thermische behandeling na kristallisatie. Zo is het mogelijk dat er harde en vormvaste voorwerpen van een polymeer bestaan boven zijn weekwordingstemperatuur. Een typisch voorbeeld is weer polyetheen. De T_g ervan ligt bij -125°C , terwijl het smeltpunt boven de 100°C uitkomt. Dit zeer lineaire, hoge-densiteitspolyetheen (HDPE) wordt dan ook gebruikt voor het aanmaken van voorwerpen die een goede thermische weerstand moeten hebben. Het inbrengen van vertakkingen zoals dit gebeurt bij hoge-drukpolymerisatie, wat leidt tot een lage-densiteitspolyetheen (LDPE), of door inbouwen van lange alifatische alkenen als zijgroep, wat een lineair lagedensiteitspolyetheen geeft (LLDPE) zal de kristalliniteit en het smeltpunt verlagen en leiden tot materialen met heel andere karakteristieken.

10. Glasvezelversterkte kunststoffen kunnen tegenwoordig gemaakt worden met georiënteerde vezels en molekulen. Daardoor ontstaat in bepaalde richtingen van het materiaal een veel grotere sterkte dan bij dezelfde stoffen met een random verdeling van de vezels en molekulen. Eén van de toepassingen is de kunststof autobumper. Hier is een testopstelling te zien waarmee materiaaleigenschappen in praktische laboratoriumomstandigheden onderzocht kunnen worden.

11. Een proefmodel voor een luchtaanzuigstuk voor een automotor uit Ultramide, een polyamide van BASF dat over een groot temperatuurbereik stabiel blijft. Dit soort onderdelen ontwerpt men tegenwoordig met Computer Aided Design programmatuur, waarbij het gedrag in de spuitgielvorm (beeld op de achtergrond) en het vibratiegedrag van het model (beeld op de voorgrond) al vooraf te bestuderen en eventueel aan te passen zijn.

10

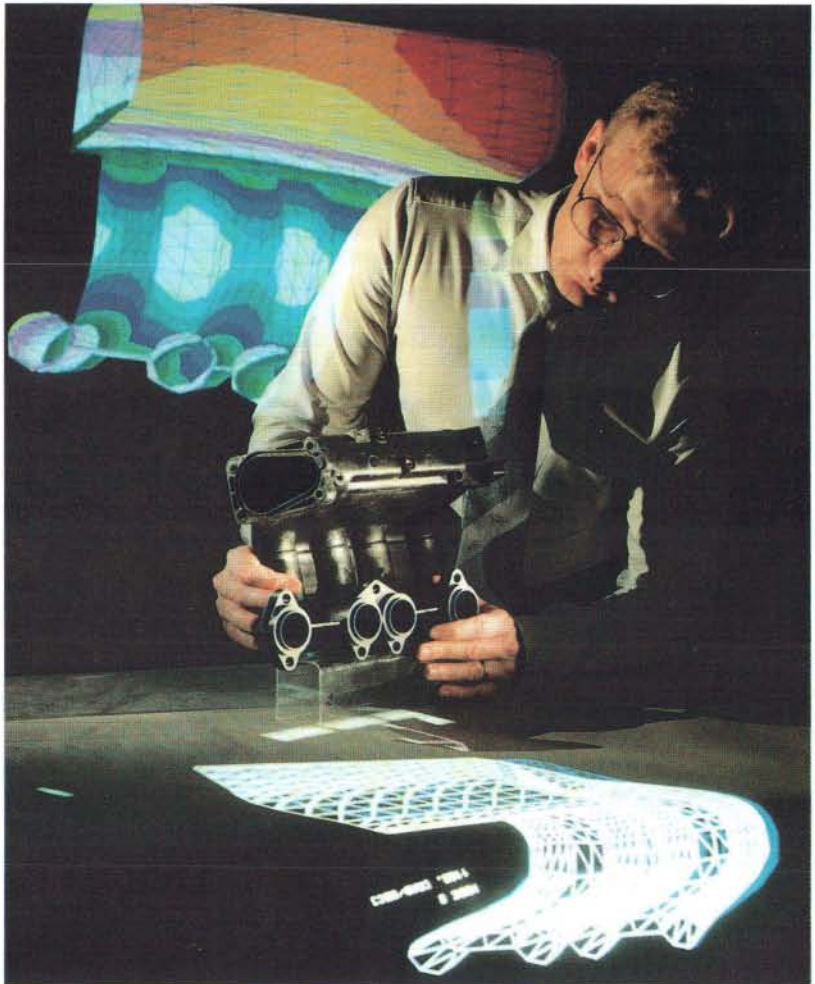


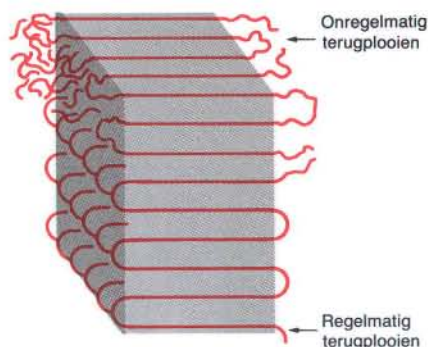
De eigenschappen van de voorwerpen vervaardigd uit gekristalliseerde polymeren hangen dus niet alleen af van de kristallisatiegraad. Ze worden ook in grote mate bepaald door de microstructuur van deze materialen. De microstructuur is vooral afhankelijk van de thermische voorgeschiedenis, de verwerkingswijze en de behandeling na verwerken. Zo zal men zeer goede mechanische eigenschappen kunnen induceren wanneer er gedurende de verwerking een oriëntatie van de molekulen mogelijk is. Immers, indien men door een bepaalde ingreep de lange ketens tot op zekere hoogte naast elkaar kan leggen, zal men in de lengterichting van de molekulen een zeer grote

treksterkte krijgen. In die richting liggen dan immers de covalente bindingen die toch heel wat sterker zijn dan de intermoleculaire aantrekkingskrachten. De oriëntatie kan in één richting gebeuren (uniaxiaal verstreken) of in twee richtingen loodrecht op elkaar (biaxiaal verstreken). Hoogwaardige, sterke, vormvaste materialen worden dan ook bereid door uitrekken bij of na de verwerking.

Tot voor enkele jaren verkreeg men deze geöriënteerde kunststoffen bij de bereiding vanuit de smelt. Hoewel dit reeds zeer interessante materialen opleverde, bleef men nog heel wat onder de theoretisch berekende mogelijkheden. De *gel-extrusiemethode* heeft inmiddels

11





12

geleid tot een veel betere benadering van de theoretische limiet. Eén van de belangrijke toepassingen ervan is het aanmaken van de tegenwoordig zo bekende supersterke vezels. Een grondige kennis van de fysische en chemische karakteristieken van polymeren en het hierop inspelen bij de verwerking kan zo leiden tot interessante nieuwe materialen, uitgaande van de bestaande basispolymeren.

Copolymeren

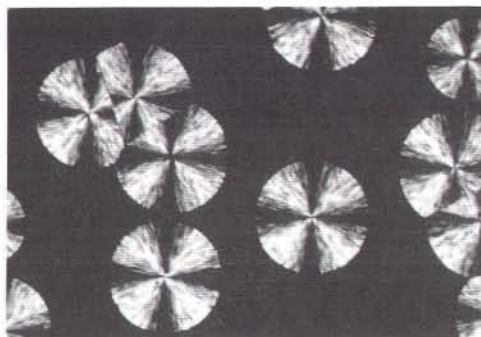
Naast een ingreep langs fysische weg, staan ook chemische methoden ter beschikking om interessante polymeren te verkrijgen. Tot nu toe werd hier alleen over homopolymeren geschreven, samengesteld uit slechts één monomeer. Men kan echter ook verschillende chemische monomeren gebruiken. Dan ontstaan copolymeren waarvan de eigenschappen afhangen van de wijze waarop deze eenheden elkaar in de keten opvolgen. Wanneer de polymeren opgebouwd worden uit een milieu waarin beide monomeren voorkomen, dan ontstaat een polymeer waarin de monomeren statistisch verdeeld zijn in de keten. De eigenschappen daarvan liggen tussen die van de overeenkomstige homopolymeren. Men kan echter ook in gekozen volgorde gelijke monomeereenheden toevoegen. Daarbij ontstaan gesegmenteerde polymeren met elkaar opvolgende niet te lange sequenties van verschillende samenstelling. Copolymeren samengesteld uit enkele zeer lange chemisch verschillende volgorden noemt men blokcopolymeren. Ook kan men een chemisch verschillende sequentie enten op de hoofdketen. In dat geval spreekt men van entcopolymeren.



13

Het inbouwen van chemisch verschillende eenheden in een polymeer kan een belangrijke invloed hebben op de eigenschappen van deze materialen. Men moet dan denken aan de oplosbaarheid, de interactie met andere materialen zoals oppervlakken (kleven) of andere polymeren (verbeteren van mengbaarheid).

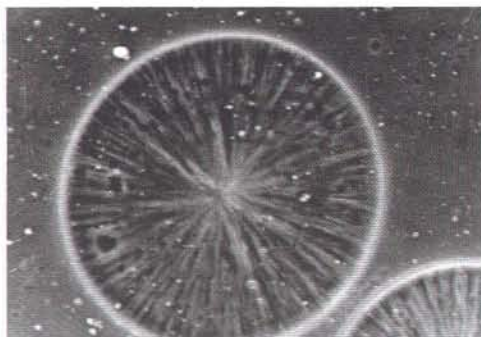
De mogelijkheden van copolymeren kunnen we goed demonstreren aan de hand van het voorbeeld van de combinatie van butadiëen en styreen. Beide monomeren leveren een polymeer met een respectievelijke T_g van $+100^\circ\text{C}$ en -85°C . Hun statistische copolymerisatie, die in de Tweede Wereldoorlog al industrieel werd uitgevoerd, leidde tot de productie van een styreenbutadiëen-rubber (SBR of GR-S). De overgangstemperatuur T_g zal voor deze copolymeren afhangen van de concentratie aan beide monomeren in de keten, maar ligt steeds tussen de T_g -waarden voor de polymeren uit de ongemengde monomeren. Ook zullen de karakteristieken van de ontstane rubber, zoals de treksterkte, slijtvastheid, weerstand tegen de omgeving en warmte-accumulatie, beïnvloed worden door de mengverhouding van beide monomeren. Wanneer styreen op butadiëen wordt geënt ontstaat een materiaal met eigenschappen van twee fasen. In het industriële proces wordt een overmaat polystyreen gevormd dat de matrix vormt waarin het polybutadiëen-polystyreenentcopolymeer als deeltjes verspreid is. Dit levert slagvast polystyreen (HIPS), een taai materiaal, dat mechanisch superieur is aan het brosse polystyreen. Belangrijk hierin is eveneens de chemische binding tussen beide polymeren waardoor de deeltjes goed verankerd zijn in deze matrix. Ook het inbouwen in een keten van twee of drie lange



14

12, 13, 14 en 15. Lamellaire kristallen zoals ze uit een verdunde oplossing groeien. In de tekening is een deel van de structuur met regelmatig terugplooïende en met onregelmatige terugplooïende molekulen weergegeven. Dit is van invloed op de uiteindelijke eigenschappen van de kunststof. In 13 is een model van een regelmatig geplooid polyetheensegment te zien, waarbij duidelijk wordt hoe dicht de stapeling kan zijn. Uit de smelt gevormde kristallen laten onder de microscoop met gepolariseerd licht (14) of onder de fasecontrastmicroscoop (15) gefotografeerd de lamellaire structuur zien.

16. Copolymeren kunnen zeer verschillende structuren hebben. Daardoor kunnen weer zeer verschillende eigenschappen door variatie van de synthese worden verkregen.



15

homogene blokken van polystyreen en polybutadieen leidt tot interessante eigenschappen die bepaald worden door de verhouding van de lengte van de segmenten.

Ook kunnen er interessante nieuwe materialen tot stand komen door het combineren van kristalliseerbare segmenten met niet kristalliseerbare, flexibele segmenten in polymeren. Dit kan onder andere belangrijk zijn voor de vezelindustrie, bij het aanmaken van schuimen e.d. De beheersing van de synthese van een polymeerketen, met het oog op het bereiken van welbepaalde eigenschappen, is een gebied dat momenteel sterk in ontwikkeling is en kan leiden tot vele nieuwe materialen.

16

Statistisch:

AOOAAOAOOAOOAOAAOAOAAOAOOAOOAOO

Alternerend:

AOAOAOAOAOAOAOAOAOAOAOAOAOAOAOAO

Gesegmenteerd:

—(A)_n—(O)_m—(A)_n—(O)_m—(A)_n—(O)_m—

Geënt:

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
 O O O O O
 O O O O O
 O O O O O
 O O O O O

Blok:

(A)_n—(O)_m

(A)_n—(O)_m—(A)_n

(O)_m—(A)_n—(O)_m

De redactie dankt drs J. Bouma en drs A. Mast, vakdidactici scheikunde aan de Vrije Universiteit Amsterdam voor adviezen bij de bewerking.

Literatuur

Goethals E.J. Polymeren. De kunst achter de stof. Natuur & Techniek 1983; 51; 5, 334-349.

Goethals E.J. Macromoleculen in de industrie. De techniek achter de stof. Natuur & Techniek 1983; 51; 5, 448-463.

Challa G. Polymeerchemie. Utrecht-Antwerpen: Het Spectrum, 1973. ISBN 90 274 7551 2.

Bronvermelding illustraties

Wim Köhler, Cadier en Keer: pag. 634-635.

Curver, Rijen: no. 4 en 5.

BASF, Ludwigshafen, BRD: no. 6, 10 en 11.

De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.



Eén van de twee toestellen van het experimentele type Bell XV-15 draait de motoren aan de vleugeltips verticaal. De rotors nemen daarbij de draagfunctie van de vleugels over. Het toestel kan vervolgens verticaal landen als een helikopter.

Bart van der Klaauw
Leiden



HELI TUIGEN

Vrijwel alle vliegtuigen hebben een start- en landingsbaan nodig om het luchtruim te kiezen, respectievelijk verlaten. Helikopters hebben die niet nodig en de voordelen daarvan zijn algemeen bekend. Helikopters hebben echter belangrijke nadelen; ze zijn duur en langzaam. Vandaar dat constructeurs al jaren op zoek zijn naar toestellen die stijgen en dalen als helikopters en vliegen als vliegtuigen. Wordt de helikopter vervangen door een echt hefschroefvliegtuig?

Een toestel dat start en landt als een helikopter maar in de lucht een 'gewoon' vliegtuig wordt, is een droombeeld dat van oudsher de ontwerpers van vliegtuigen heeft geobsedeerd. Er ligt weliswaar een hele ontwikkeling tussen de primitieve tweedekker van de gebroeders Wright uit 1903 en de supersonische Concorde van onze dagen, maar in één opzicht is er nauwelijks iets veranderd: ieder vliegtuig heeft een aanloop nodig om te starten en een uitloop bij de landing. Alleen helikopters kunnen recht of in ieder geval zeer steil stijgen en landen.

Naast zijn ontegenzeggelijke voordelen heeft de helikopter ook belangrijke nadelen, zoals hoge bedrijfskosten, gering laadvermogen en geen al te hoge snelheid. Dat maakt hem wel voor zeer veel, maar niet voor alle taken geschikt. Een vliegtuig met de gunstige start- en landingseigenschappen van een helikopter en daarnaast ook de goede eigenschappen van een normaal vleugelvliegtuig, is dan ook een ideale combinatie die veel constructeurs hebben geprobeerd te verwezenlijken, helaas met bijzonder weinig succes. Het resultaat was meestal een toestel dat als helikopter en als gewoon vliegtuig maar matige prestaties leverde. Maar in Amerika lijkt men nu een

bruikbare oplossing te hebben gevonden. De naam ervan is *Osprey* (visarend).

Deze Osprey, aangeduid met de militaire codeletters JVX en het typenummer V-22, wordt momenteel ontwikkeld door een tweetal nauw samenwerkende helikopterfabrieken: de Bell Helicopter Company en de Boeing-Vertol Company. Beide hebben op het gebied van helikopters een grote ervaring. Bell is gespecialiseerd in lichtere toestellen, ze zijn overal op de wereld in gebruik. Boeing-Vertol is bekend als bouwer van zware transporthelikopters als de Chinook en de Sea Knight. De Osprey is in eerste instantie ontwikkeld als militair toestel. Daarnaast denkt men er ook over om een speciale versie voor de burgerluchtvaart te ontwikkelen. Hiervan heeft men ook grote verwachtingen. Een dergelijk rooskleurig vooruitzicht voor een geheel nieuw, revolutionair vliegtuigtype is bepaald niet alledaags.

De Osprey ziet eruit als een fors tweemotorig vliegtuig met een achttien meter lange, hoekige romp en een korte brede vleugel. Aan elk vleugeluiteinde zit een motorgondel met daarin een schroefturbine die een driebladige rotor met een diameter van 11,40 meter aandrijft. Het bijzondere aan deze motorgondels is ech-

1



2





3



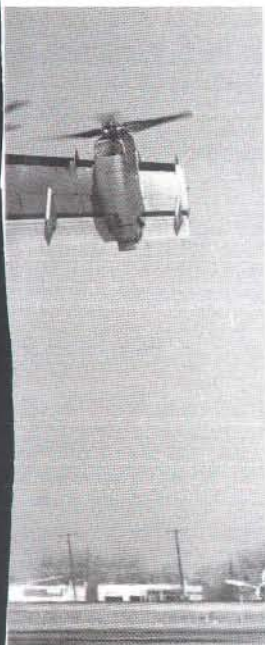
4

ter dat zij om hun dwarsas kunnen kantelen. Bij de start staan zij recht omhoog en de beide rotors draaien in een zuiver horizontaal vlak. Het toestel kan dan als een helikopter loodrecht en zonder enige aanloop starten. Maar eenmaal in de lucht en op een bepaalde hoogte aangekomen, laat de vlieger de motorgondels langzaam naar voren kantelen. Daarbij wordt de draagkracht van de rotors geleidelijk overgebracht naar de vleugels. Wanneer tenslotte

de motorgondels horizontaal tegen de vleugeluiteinden aanliggen, zijn de beide rotors propellers geworden die het toestel horizontaal door de lucht voortstuwten. In plaats van draagkracht leveren zij dan trekkracht. In deze toestand kan de Osprey een kruissnelheid halen die om en nabij de 500 kilometer per uur ligt. Wanneer de vlieger wil landen voert hij dezelfde procedure in omgekeerde richting uit. Hij laat de motorgondels weer langzaam de verticale stand innemen, de rotors nemen de dragende functie weer van de vleugels over en het toestel zakt langzaam omlaag voor een verticale landing zonder uitloop.

Ervaring

Dit is, kort en eenvoudig gezegd, de gang van zaken, maar het zal zonder meer duidelijk zijn dat het technisch niet zo eenvoudig is; het is zelfs vrij ingewikkeld. Gelukkig komt één van de twee partners in dit project, de Bell Helicopter Company, op dit speciale gebied bepaald niet onbeslagen op het ijs. Zo heeft men in de jaren vijftig al een tweetal experimentele toestellen met kantelende rotors gebouwd, aangeduid als XV-3. Bij dit toestel werden beide rotors aangedreven door één enkele in de romp geplaatste Pratt & Whitney stermotor van 450 pk, waarvoor lange, in de lengterichting door de vleugels lopende assen nodig waren. Met de twee XV-3's werden door de NASA in samenwerking met leger en marine diverse experimentele programma's afgewerkt, maar tot een operationeel type leidde dit toen nog niet.



1-4. In de loop der jaren zijn constructeurs met allerlei creatieve ideeën gekomen voor vliegtuigen die verticaal kunnen stijgen en landen. De Convair XFY-1 (1) werd gewoon verticaal op de grond gezet en ging als een raket omhoog. De Hiller XC-142 (2) kantelde de hele vleugel verticaal, terwijl bij de Bell XV-3 (3) de rotorassen gedraaid werden. De Fairey Rotodyne (4) was in de meest letterlijke zin van het woord een kruising tussen een helikopter en een vliegtuig. Geen van deze ontwerpen was erg succesvol.



5

In mei 1973 richtte de NASA zich opnieuw tot Bell voor het bouwen en beproeven van een dergelijk vliegtuigtype met de bedoeling om de nodige ervaring op te doen voor het ontwikkelen van een operationeel bruikbaar toestel van deze configuratie. Het resultaat was de XV-15, waarvan men ook twee exemplaren bouwde. Het eerste toestel vloog op 3 mei 1977, gevolgd door het tweede op 23 april 1979.

Met deze twee toestellen is een uitgebreid testprogramma afgewerkt. Er werden proeven genomen met het bijtanken van brandstof in de lucht en er werd gevlogen met speciale elektronische apparatuur en met opsporings- en waarschuwingsradar aan boord. Bij al deze experimenten bleek de XV-15 bijzonder goed te voldoen en even bruikbaar te zijn als de diverse typen middelgrote helikopters die op dat moment in dienst waren. Als extra voordeel gold de hogere snelheid van dit vliegtuig.

Simulatie

De gunstige resultaten van de XV-15 leidden tot een vervolgoopdracht voor Bell. Daar is men het nieuwe ontwerp, aangeduid met code JVX,

5. Een Osprey in de marineversie. Het toestel zal als een helikopter stil in de lucht kunnen hangen.

6. Het bekendste verticaal stijgende en dalende vliegtuig is de Britse Harrier. De motor van deze jager heeft aan weerszijden van de romp vier uitlaten die gedraaid kunnen worden. Bij start en landing worden ze naar beneden gedraaid.



6

niet alleen op de tekentafels gaan uitwerken, er werd ook een uitgebreid testprogramma afgewerkt waarbij uitvoerig gebruik werd gemaakt van simulatoren. Verder bouwde men een model van het rotorsysteem op tweederde van de ware grootte, waarmee men uitgebreide windtunnelproeven heeft genomen. Voorts heeft Boeing windtunnelproeven gedaan met een model op 20% van de ware grootte van de complete Osprey. Men heeft in totaal meer dan 6000 windtunneluren voor dit programma gemaakt en dat is nog niet het einde. Hierbij bleek dat het effectief vermogen van het rotorsysteem van de Osprey een stuk hoger ligt dan

bij de XV-15. Bovendien waren de resultaten zodanig dat het niet meer nodig bleek te zijn om windtunnelproeven te nemen met een rotor op ware grootte; de werkelijke vliegproeven zullen voldoende zijn. Men heeft vastgesteld dat de Osprey met de motorgondels in vrijwel verticale stand een voorwaartse snelheid van 180 kilometer per uur kan behalen.

Bij het ontwerpen en testen van de JVX richtte men zich vooral op de volgende eisen: op een warme dag moet het toestel bij een temperatuur van 33°C op 900 meter boven de grond kunnen stilhangen met een externe lading van 3750 kg die onder het toestel hangt, het moet een kruissnelheid van 500 km per uur halen, een tactisch bereik hebben van 2500 ki-



lometer en een overvliegbereik van 3750 kilometer. Deze specificaties waren gericht op de militaire toepassingsmogelijkheden die men in gedachten had, zoals landingsacties door mariniers, opsporings- en reddingsvluchten door de marine, speciale lange-afstandsoperaties door de luchtmacht en transportvluchten door de landmacht. Daarbij moest het toestel bij nacht en slecht weer op geringe hoogte kunnen opereren, geavanceerde navigatie- en communicatie-apparatuur aan boord hebben, zeer eenvoudig zijn te onderhouden en te repareren en aan boord van schepen kunnen worden meege-

Draaischijf

Voor al deze laatste specifieke marine-eisen leidden tot een speciale constructie. De vleugel zit namelijk boven op de romp bevestigd via een soort draaischijf. Zodoende kan de vleugel een kwarts slag naar achteren worden gedraaid zodat hij op de romp komt te rusten. Tevens kunnen de rotorbladen dan binnenwaarts worden opgevouwen zodat het geheel – vleugel met motoren en rotors – samengepakt boven op de romp ligt.

Die draaischijf heeft constructief nogal wat problemen met zich meegebracht en men heeft ruim vijftig verschillende uitvoeringen onderzocht voordat men een definitieve keus maakte. Er moeten namelijk door die draaischijf diverse leidingen worden gevoerd, die van de romp via de vleugels naar de motoren lopen, zoals die van het hydraulisch systeem, het elektrisch systeem en de brandstofvoer. Men is er echter in geslaagd om een goede oplossing voor dit technisch moeilijke probleem te vinden. De draaischijf bestaat nu uit een plaatse-lijk met metaal versterkte kunststof ring.

Een ander vraagstuk waarvoor men een oplossing moest vinden was het verlies aan draagkracht van de rotors bij het stilhangen en het vliegen met geringe snelheid, wanneer de motorgondels verticaal staan. De door de rotors omlaag gestuwde lucht warrelt dan van de vleugels weer omhoog en veroorzaakt een verlies aan draagkracht van rond 12%. Men heeft hiervoor een oplossing gevonden die bestaat uit een combinatie van grote kleppen aan de achterkant van de vleugel plus een aantal geleideschotten op bepaalde plaatsen op de vleugel. Men heeft berekend dat een stilhangende Osprey zonder deze voorzieningen een nuttig laadvermogen heeft van 2700 kg. Met alleen de kleppen wordt dit 4300 kg en met zowel kleppen als geleideschotten komt men zelfs tot 5400 kg. Een aanzienlijk verschil dus.

Materialen en motoren

Wanneer men de Osprey zoals hij nu op papier staat nader bekijkt valt op dat de vleugel een lichte voorwaartse pijlstand heeft en tevens in vooraanzicht de vorm van een wijde V vertoont. Op die manier houdt men de rotors, wanneer zij vertikaal draaien, op voldoende afstand van de vleugelvoorrand en bovendien

7. Eén van de belangrijkste taken die men voor de Osprey in gedachten heeft, is het aan- en afvoeren van troepen en materiaal in moeilijk bereikbare gebieden.

8. De voorloper van de Osprey, de experimentele XV-15, is aan boord van een vliegdekschip uitgebreid getest op de toepassingsmogelijkheden vanaf schepen.



7

op ruime hoogte boven de grond. De romp is tamelijk breed en kan in de militaire uitvoering 24 man bevatten, samen met hun uitrusting. Verder is de achterkant van de romp schuin naar boven oplopend uitgevoerd en kan de onderzijde van het rompachterstuk als een valreep worden neergelaten, zodat voertuigen snel op eigen kracht kunnen worden geladen of gelost. Het horizontale staartvlak heeft dubbele kielvlakken. De wielen worden ingetrokken in uitbouwen opzij van de romp, van hetzelfde type als Boeing-Vertol heeft toegepast bij de Chinook helikopter.

Bij de bouw van de Osprey wordt op grote schaal gebruik gemaakt van kunststof, voornamelijk grafiethars, dat relatief zeer sterk en licht in gewicht is. Het totale gewicht van het vliegtuig wordt zodoende rond 25% lager, terwijl de kunststofs delen ruim het dubbele zouden wegen als men ze van aluminium had vervaardigd. De vleugel, die een spanwijdte van

14 meter en koorde (breedte) van 2,40 meter heeft, heeft een grootste dikte van iets minder dan 60 centimeter ofwel 23% van de koorde. Een wat dikkere vleugel (25% van de koorde) zou circa 50 kg lichter kunnen zijn maar aerodynamisch veel minder gunstige eigenschappen hebben.

De motoren vormen een hoofdstuk apart. Men bouwt in eerste instantie een serie van tien prototypen waarvan er zes zullen vliegen. De andere vier zullen onder andere worden gebruikt voor statische en vermoeidheidsproeven. Aanvankelijk had men deze prototypen willen uitrusten met twee General Electric T64-GE-717 motoren die elk 4855 pk leveren. Hiermee zou het eerste toestel in augustus 1987 kunnen vliegen. De produktietoestellen zouden echter motoren van een nieuw type krijgen die rond 5000 pk leveren. Daarvoor zijn momenteel drie motortypen in ontwikkeling, waarvan de fabrikanten te kennen hebben ge-

geven dat zij op tijd gereed zullen zijn voor beproeving in één of meer prototypen. Bell en Boeing-Vertol hebben daarom besloten om de eerste vlucht een half jaar uit te stellen zodat ze dan meteen de definitieve motoren in kunnen bouwen.

De eerste Osprey vliegt nu waarschijnlijk in februari 1988. Een speciaal detail van de motorinstallatie is dat de beide motoren onderling via lange door de vleugels lopende assen met elkaar gekoppeld zijn. In de eerste plaats is dat gedaan om de beide motoren synchroon te laten lopen, in de tweede plaats opdat bij het uitvallen van één van de motoren de andere de aandrijving van beide rotors voor zijn rekening kan nemen.

Ook civiel

Zoals het werkschema er nu uitziet verwacht men in 1988 de eerste contracten voor de serie-toestellen te krijgen die men dan vanaf 1991 gaat leveren. Met de tot nu toe geplande orders hoopt men tot ruim het jaar 2000 vooruit te kunnen. Los daarvan is er natuurlijk nog de mogelijkheid dat er bestellingen van anderen komen, niet alleen van de strijdkrachten van andere landen maar ook van de burgerluchtvaart. Bell en Boeing-Vertol kijken namelijk,

zoals vliegtuigbouwers altijd doen, verder vooruit en leven in gedachten in de toekomst. Immers, met de belangrijke steun van grote militaire orders in de rug wordt het mogelijk om deze nieuwe ontwikkeling ook zonder al te grote extra investeringen aan het civiele luchtverkeer ten goede te laten komen, omdat een belangrijk deel van de ontwikkelingskosten al van militaire zijde is betaald. Er staat dan ook al een schets op papier van een versie van de Osprey die wordt ingericht voor het vervoer van 44 passagiers. Dit toestel krijgt de vleugel en de motoren plus rotors van de militaire Osprey, gecombineerd met een geheel nieuwe, langere romp die meer de lijnen van een verkeersvliegtuig vertoont. Bij dit civiele toestel hoeft men uiteraard niet de draaibare vleugel met opvouwbare rotors toe te passen, iets dat het toestel lichter en constructief eenvoudiger maakt.

Voorlopig is alleen nog maar sprake van een ontwerpstudie en het is nog met geen mogelijkheid te zeggen of en wanneer dit soort vliegtuigen zijn intrede in de burgerluchtvaart zal doen. Wanneer dat ooit gebeurt zal wellicht de oude droom om door de lucht rechtstreeks van stadscentrum tot stadscentrum te vliegen eindelijk kunnen worden verwezenlijkt. Men moet echter niet uit het oog verliezen dat in de civiele vliegerij geheel andere criteria gelden dan in de militaire luchtvaart. Bedrijfseconomisch gunstige eigenschappen en een laag, acceptabel geluidsniveau zijn bijvoorbeeld factoren van doorslaggevende betekenis en in hoeverre de Osprey daaraan zal kunnen voldoen moet nog blijken.

Een feit is in ieder geval dat, als over vijf jaar de eerste Osprey's in operationaal gebruik komen, de luchtvaarttechniek opnieuw een belangrijke sprong voorwaarts zal maken, want van stilstand is er op dit terrein nog lang geen sprake.

8

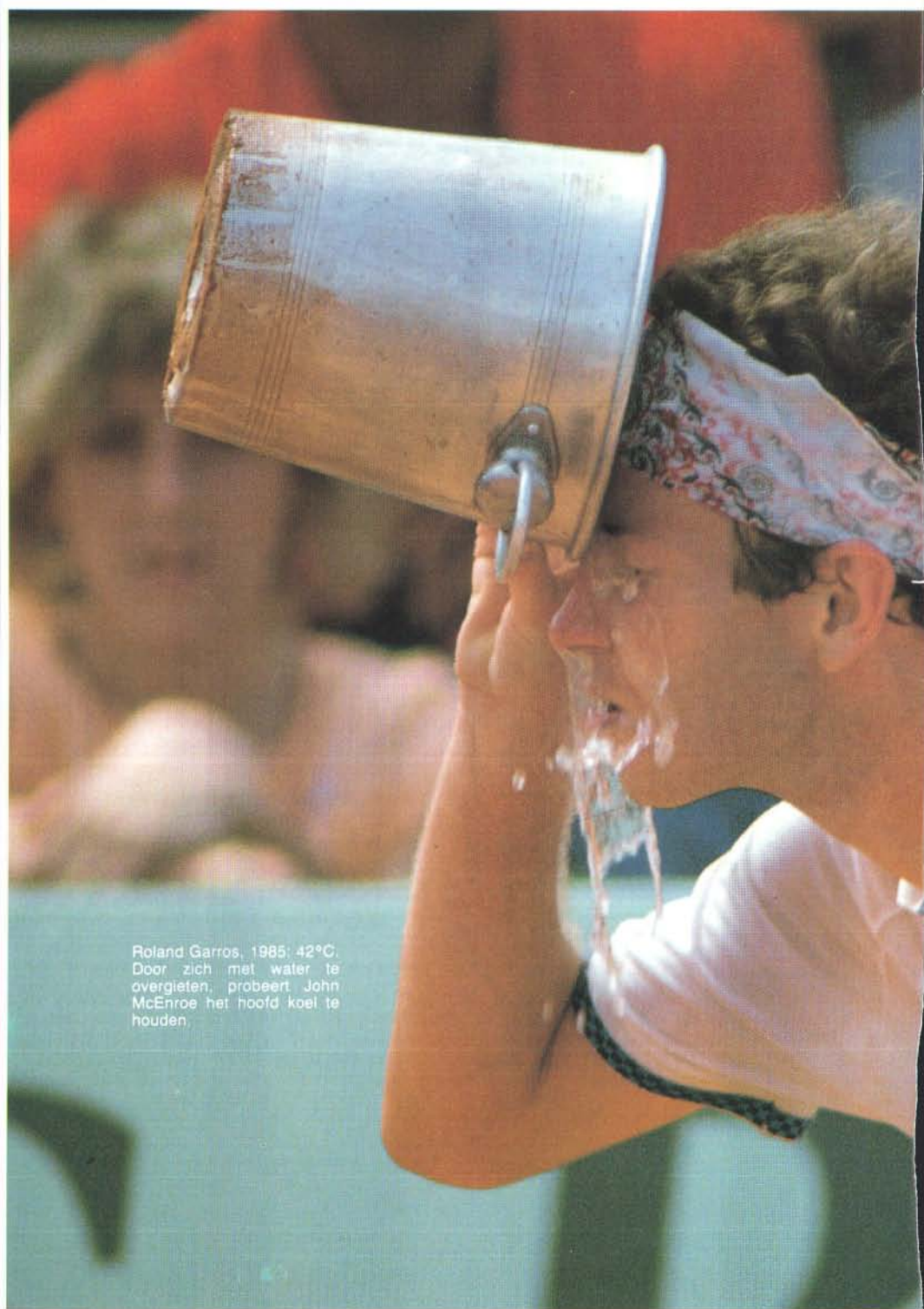


Literatuur

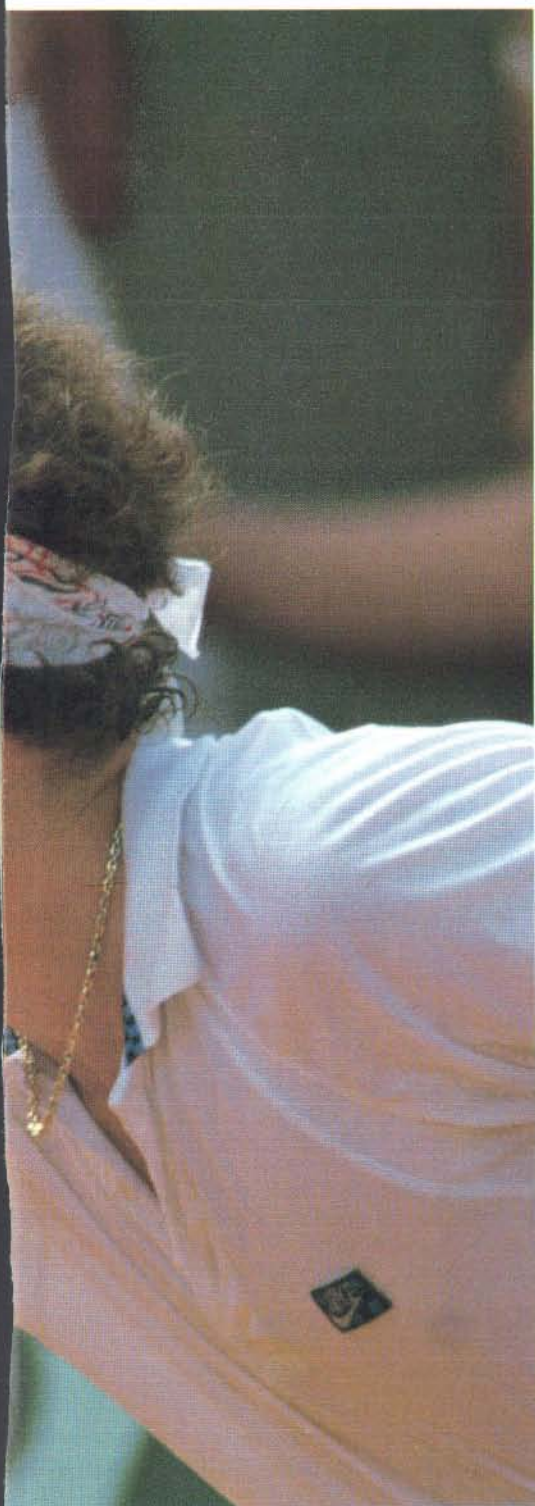
Wie de verdere ontwikkelingen op het gebied van verticaal stijgende en dalende vliegtuigen wil volgen, kan de jaarboeken Luchtvaart van Uitgeverij de Alk, Alkmaar raadplegen. Deze boekjes houden de nieuwste ontwikkelingen ook op andere luchtvaartterreinen bij.

Bronvermelding illustraties

Bell/Postma: opening.
Thijs Postma, Hoofddorp: 5, 6, 7, 8.
De overige foto's zijn afkomstig van de auteur.



Roland Garros, 1985: 42°C.
Door zich met water te
overgieten, probeert John
McEnroe het hoofd koel te
houden.



J. Willems

Nijmegen

KOEL WATER

Water speelt een belangrijke rol bij allerlei lichaamsprocessen. Omdat ons lichaam water zelf niet in voldoende mate produceert, moet voortdurend aanvulling plaatsvinden via de voeding. Een vochttekort kan ernstige gevolgen hebben: afgezien van een verminderde zuurstoftoevoer via het bloed, bestaat er gevaar voor oververhitting. Wanneer door vochtverlies het lichaamsgewicht meer dan 2% vermindert, neemt het prestatievermogen al aanwijsbaar af; 6% gewichtsverlies kan tot ernstige stoornissen van diverse lichaamsfuncties leiden en 20% gewichtsafname is dodelijk. Bij zware sportprestaties, zoals een marathon, kunnen vochtverliezen van ruim 8% van het lichaamsgewicht voorkomen. Tijdige aanvulling van water (en zouten) kan de lichaamstemperatuur binnen de perken houden.

Vochtregulatie bij inspanning

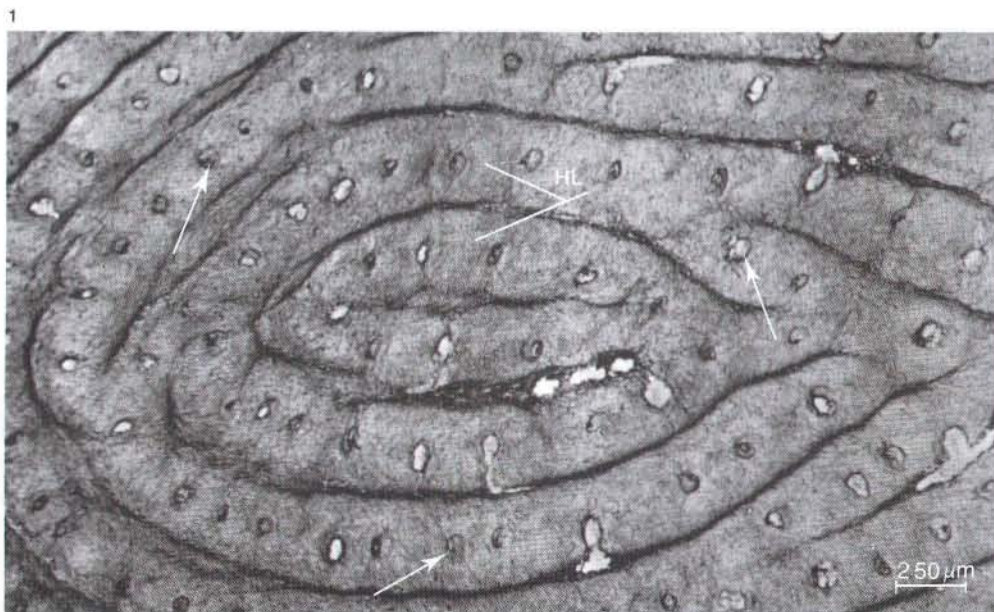
Het lichaam van een volwassen mens bestaat gemiddeld voor 60% uit water. Daaruit blijkt al dat water voor ons van enorme betekenis is. Het watergehalte van diverse weefsels loopt nogal uiteen. Zo bestaan de hersenen voor circa 75% en de spieren voor 70% uit water. Botweefsel daarentegen bevat maar 28% water.

Het grootste deel, circa 70% van dat lichaamsvocht, bevindt zich in de cellen (intracellulair). Het overige, extracellulaire vocht, vinden we in de ruimte tussen de cellen (ruim 20%) en in het bloed en lymfevocht. Voor een volwassen man van 70 kg betekent dat in concreto dat hij ongeveer 30 l water in zijn lichaamscellen heeft, 9 l in de ruimte tussen die cellen en 4 l in de bloed- en lymfevaten. Tussen deze compartimenten vindt voortdurend uitwisseling van lichaamsvocht plaats. Zo komt vocht uit de bloedvaten op een gegeven moment tussen de cellen terecht; celvocht kan ook in de lymfevloeistof belanden.

Water vervult een aantal vitale functies. Het fungeert als oplosmiddel en vormt zo het juiste milieu voor allerhande (cellulaire) stofwisselingsprocessen. Verder is water een belangrijke bouwstof (bijvoorbeeld voor de spiercellen) en een onmisbaar transportmedium voor voedingsstoffen, zuurstof en warmte in het lichaam.

Onder normale omstandigheden neemt een mens ongeveer evenveel water op als hij verliest. De waterbalans blijft op die manier gehandhaafd. Dagelijks raken we 1 tot 1,6 l vocht kwijt via de urine; 500 tot 700 ml door verdamping aan het huidoppervlak (transpiratie); 400 ml verdwijnt na verdamping met de uitgeademde lucht en zo'n 80 tot 100 ml tenslotte verlaat het lichaam via de ontlasting. Dat levert een totaal vochtverlies op van 2 tot 2,8 l per dag. Dit verlies compenseren we grotendeels door te drinken en te eten. Gemiddeld drinkt een volwassene 1 tot 1,5 l vocht per dag (water, koffie, melk, thee en dergelijke) en krijgt hij via de vaste voeding ook nog eens 600 tot 900 ml water binnen. De waterproductie als gevolg van de oxydatie van koolhydraten en vetten levert ook een kleine bijdrage aan het instandhouden van de waterbalans. Deze hoeveelheid zelf geproduceerd water bedraagt gemiddeld 400 ml.

Bij intensieve en langdurige sportbeoefening, zoals bijvoorbeeld bij hardlopen, voetballen, wielrennen en tennissen, gaat er, met name door de sterkere transpiratie, veel meer vocht verloren. Bij een combinatie van warm weer en een zware inspanning kan de zweetproductie zelfs oplopen tot enkele liters per uur.

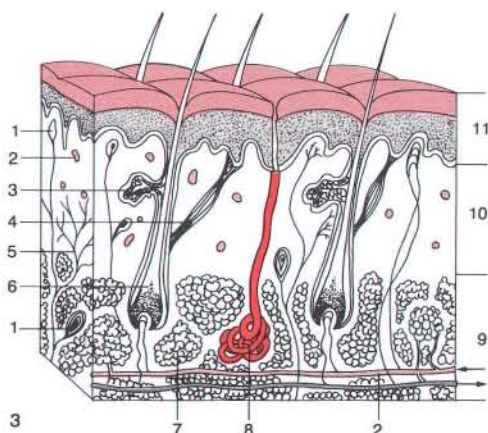


TABEL Gemiddeld vochtverlies per wedstrijd bij diverse takken van sport

Sport	Verlies (l)
10 km hardlopen	1,5
Marathon	4,0
2000 m roeien	0,8
Basketbal	1,7
Voetbal	3,0
Worstelen	1,8
Boksen	1,6
IJshockey	1,8

Marathon

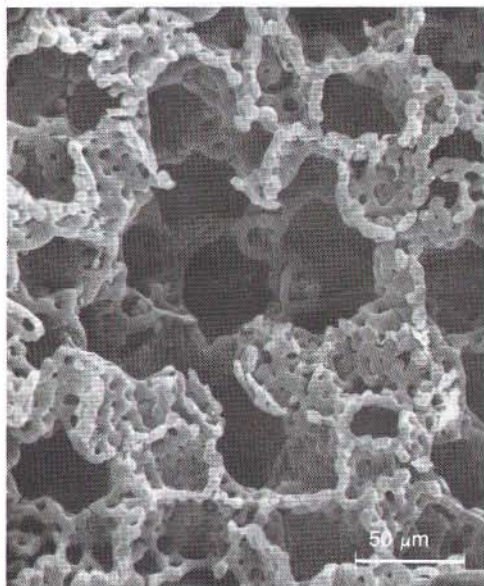
Zowel door de snel groeiende belangstelling voor het lange-afstandlopen als door het enorme vochtverlies bij deze tak van sport, heeft een groot deel van de wetenschappelijke belangstelling zich op de marathon gericht. Men heeft vastgesteld dat marathonlopers soms meer dan 6 l water kwijtraken (13 tot 14% van de totale hoeveelheid lichaamsvocht). Er zijn zelfs onderzoekers die een vochtverlies van



meer dan 10 l hebben vastgesteld. Dit soort verliezen berekent men doorgaans door het verschil in lichaamsgewicht voor en na de duurloop te bepalen en bij het gemeten gewichtsverlies het gewicht van de gedronken hoeveelheid water — één liter weegt één kilo — op te tellen.

Een groot deel van dit onderzoek is uitgevoerd bij getrainde lange-afstandlopers die hun prestaties verrichtten bij warm weer. De meeste grote marathons vinden namelijk in de

2



1. In de menselijke huid liggen circa twee miljoen zweetklieren ingebed. Vooral op de handpalmen, de voetzolen en op het voorhoofd zijn deze klieren in groten getale aanwezig. Wie zijn vingertopjes eens onder de loep neemt, kan de uitmondingen van de afzonderlijke zweetklieren zien. Het zijn ronde openingen (zie pijltje) op de huidlijsten (HL).

2. Longblaasjes (alveoli). Niet alleen via de huid maar ook via onze luchtwegen vindt door verdamping continu vochtverlies plaats. Ingeademde lucht wordt, voornamelijk bij transport van en naar de longen, opgewarmd en verlaat, verzadigd met waterdamp, het lichaam.

3. Opbouw van de huid. Van buiten naar binnen zijn er drie lagen aan de huid te onderscheiden: opperhuid (11), lederhuid (10) en onderhuid (9). De opperhuid bestaat aan het oppervlak uit verhoorde epitheelcellen. Vanuit de onderste cellaag vindt, door celdeling, voortdurend vernieuwing van de huid plaats. Onder de opperhuid ligt de elastische lederhuid. In dit sterk met bloedvaten (2) doorweven gedeelte liggen onder meer haarsprietjes (4), talgklieren (3), vrije zenuwuiteinden (5) en tastzintuigen (1). Haren (6) en zweetklieren (8) strekken zich uit in de vetrijke onderhuid (7).

de zomer plaats. Omdat daardoor een vertekend beeld zou kunnen ontstaan, heeft men in 1985 ook eens een onderzoek uitgevoerd tijdens een marathon bij koud weer (12°C), waaraan tevens minder getrainde sportmensen meededen. Dat leverde inderdaad andere cijfers op: het waterverlies tijdens de marathon van Aberdeen (Schotland), bedroeg gemiddeld nog geen 5 l en het gewichtsverlies — na correctie voor hetgeen men tijdens het lopen had gedronken — varieerde tussen de 2 en 3 kg. Dat lagere gemiddelde hangt vooral samen met een minder sterke zweetproductie bij een lagere buitentemperatuur.

Doordat dit soort wetenschappelijk onderzoek niet steeds onder dezelfde omstandigheden kan plaatsvinden, is het definitieve antwoord op sommige vragen moeilijk te geven. In Schotland stelde men bijvoorbeeld vast dat de recreatieve marathonlopers niet veel minder vocht verloren dan de wedstrijdlopers. De verklaring werd gezocht in het feit dat recreatieve lopers weliswaar langzamer lopen, maar dat zij dit ook langer moeten volhouden dan de ge-

4 en 5. Drinken tijdens het hardlopen blijkt voor velen een onplezierige ervaring te zijn. Om te beginnen bemoeilijken bewegingen in het verticale vlak het drinken uit een bekertje. Tevens wordt de ademfrequentie, die nauw op het loopritme is afgestemd, erdoor verstoord.

6. Zweten is een belangrijk mechanisme om overvloedige warmte kwijt te raken. De zweetproductie stijgt evenredig met de intensiteit van de inspanning. Transpiratievocht dat in straaltjes van het lichaam loopt, betekent wel vochtverlies, maar speelt geen rol bij de warmte-afvoer.



5

4



traineerde wedstrijdlopers. Tijdens andere wedstrijden stelde men daarentegen vast dat topsporters tijdens een marathon door transpiratie ruim zes liter water kwijtraakten, terwijl de recreanten niet meer dan 1,5 tot 3 kg van hun lichaamsgewicht verloren.

Zuurstoftoevoer

Wanneer een overmatig vochtverlies niet op tijd wordt aangevuld, kan het prestatievermogen van de sporter aanzienlijk teruglopen. Er kan zelfs gevaar voor oververhitting (*hyperthermie*) bestaan. Bij een groot zweetverlies loopt het prestatievermogen onder meer achteruit doordat de zuurstoftransportcapaciteit van het bloed vermindert. Dit is een gevolg van wateronttrekking aan het bloed. Voor de zweetproductie wordt namelijk in eerste instantie water betrokken uit de intercellulaire ruimten, de ruimte tussen de cellen. Dit wordt vervolgens aangevuld met vocht dat in allerlei lichaamsweefsels vrij beweegt. Zodra er hierdoor een tekort aan weefselvocht ontstaat, zal het lichaam ook water aan de bloedbaan onttrekken. Het bloed krijgt zo een hogere visco-



6

siteit, met als gevolg dat het trager stroomt. De aanvoersnelheid van zuurstof naar met name arm- en beenspieren neemt hierdoor af. Dit betekent bovendien dat de afvoer van afvalstoffen en warmte, die bij de spierarbeid zijn ontstaan, in het gedrang komt.

Behalve de zuurstofaanvoer is de afvoer van warmte doorgaans een beperkende factor. Van de energie, die bij inspanning in de spiercellen wordt vrijgemaakt, kan slechts 30% voor spierarbeid benut worden. De rest komt vrij in de vorm van warmte. Door een onvoldoende warmte-afvoer zal de sportman of -vrouw geen optimale prestaties kunnen leveren. Het enorme belang van de warmte-afvoer kan waarschijnlijk het beste geïllustreerd worden aan de hand van een voorbeeld.

Warmteregulatie

Wanneer een wielrenner met een snelheid van $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ rijdt, komt er in zijn spieren zoveel warmte vrij, dat zijn lichaamstemperatuur na ongeveer 15 minuten 42°C zou bedragen, als er geen warmte afgevoerd zou worden. Om schade te voorkomen probeert het lichaam

echter voortdurend om de temperatuur, binnen zekere marges, constant te houden. Om dit te bereiken moet de overvloedige warmte aan de omgeving worden afgestaan. Dit gebeurt aan het lichaamsoppervlak.

Er is een aantal mogelijkheden om warmte kwijt te raken: uitstraling van warmte naar een koelere omgeving (R), het afstaan van warmte aan lucht of water in de directe omgeving (geleiding) (C) en door verdamping: via de huid (transpiratie) (E) en via de luchtwegen (EA). Stroming van water of lucht langs de huid, een lage omgevingstemperatuur en een lage luchtvochtigheid zijn factoren die de verdamping, en daarmee de warmte-afgifte, bevorderen. Wanneer de warmteproductie (M) en -afgifte met elkaar in evenwicht zijn kan men dat als volgt aangeven:

$$M = R + C + E + EA$$

In rust gaat circa 75% van de warmte door straling en geleiding verloren. Bij inspanning zal onder invloed van de *hypothalamus*, het temperatuurregulatiecentrum in de tussenheren, eerst de doorbloeding van de huid toenemen, om de warmte-afgifte door straling en

geleiding te bevorderen. Als de temperatuur hierdoor niet voldoende daalt, worden via het autonome zenuwstelsel de zweetklieren tot activiteit geprikkeld. Bij zware arbeid is warmte-afgifte door verdamping van zweet het belangrijkste. De hiervoor benodigde warmte, $580 \text{ kcal} \cdot \text{l}^{-1}$ ($2428 \text{ kJ} \cdot \text{l}^{-1}$), wordt aan de huid onttrokken.

Het bovenstaande betekent overigens niet dat elke temperatuursverhoging van het lichaam bij zware inspanning een gevolg is van onvoldoende warmte-afgifte. De temperatuur stijgt tijdens arbeid namelijk altijd enigszins en bereikt pas na ongeveer dertig minuten een min of meer constante waarde, afhankelijk van de geleverde prestatie, tussen de 38 en 39°C . Enige tijd na de arbeid zakt de temperatuur weer tot het normale niveau, rond de 37°C .

7



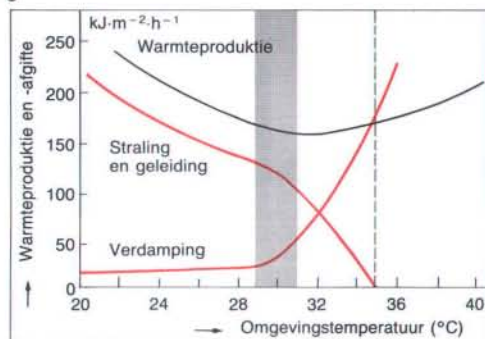
7. Kanaalzwemmer Kevin Murphy maakt zich gereed voor een recordpoging op het traject Dover-Frankrijk-Dover. Bij een langdurig verblijf in het koude water, kan het lichaam door geleiding en straling zoveel warmte verliezen dat er onderkoeling volgt. Het aanbrengen van vet op de huid geeft een extra isolerend effect.

Oververhit

Een verminderde zuurstofaanvoer ten gevolge van vochtverlies hoeft niet direct schadelijk te zijn voor de gezondheid. Vochtverlies kan echter wel tot grote problemen met de warmteregulatie leiden. Ernstige oververhitting kan dodelijk zijn. Tussen 1931 en 1966 zijn in de Verenigde Staten 26 American-footballspelers overleden aan oververhitting en ook onder lange-afstandlopers zijn al diverse slachtoffers gevallen.

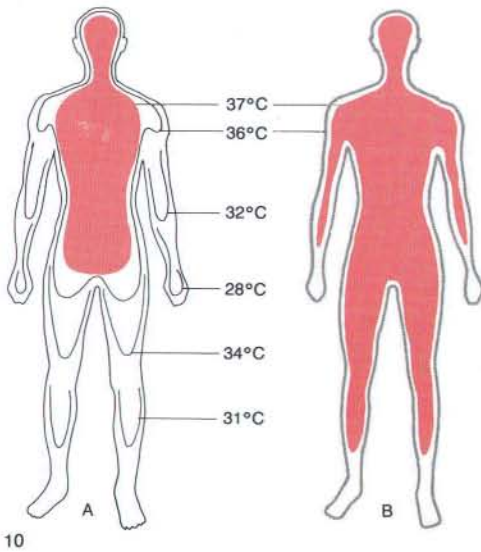
Een sterk verhoogde lichaamstemperatuur blijkt onder andere bij marathonlopers een betrekkelijk algemeen verschijnsel te zijn. Sportonderzoekers stellen regelmatig lichaamstemperaturen boven de 40°C vast. De winnaar van een marathon in 1977 bleek, bij een buitentemperatuur van 19°C , zelfs een temperatuur van

8

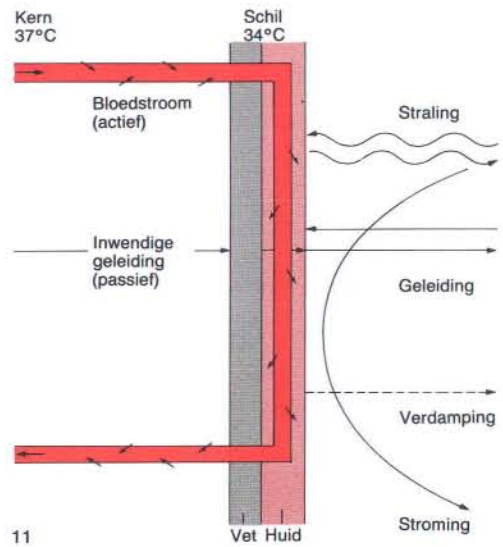


ruim 41°C te hebben. Publikatie van dit soort cijfers in vaktijdschriften en sportbladen heeft geleid tot de opvatting dat bij zware inspanningen zoals lange-afstandlopen, wielrennen en dergelijke de lichaamstemperatuur altijd fors zal oplopen. Dat blijkt onjuist.

Onderzoek tijdens de al eerder genoemde marathon van Aberdeen heeft aan het licht gebracht dat zo'n verhoging van de lichaamstemperatuur niet altijd optreedt. De gemiddelde temperatuur van de lopers was weliswaar ruim 38°C , maar er waren ook (recreatieve) hardlopers die over de koude klaagden. Enkele van hen bleken zelfs een lichaamstemperatuur te hebben van minder dan 36°C . Dat heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat ze langer

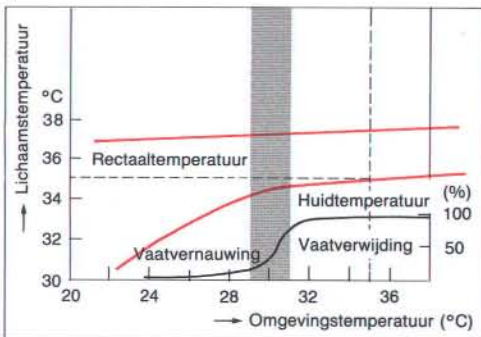


10



11

9



8, 9, 10 en 11. De temperatuur in de kern van het lichaam is altijd hoger dan in de schil. De temperatuurverdeling in een koude omgeving (10A) verschilt van die bij een hoge buitentemperatuur of bij fysieke inspanning (10B). Onder invloed van deze verschillen in temperatuur, vindt transport van warmte naar de huid plaats (geleiding) (11). De onderhuidse vetlaag belemmert dit enigszins. Bloed fungeert als een actief transportmedium. Zolang de buitentemperatuur lager is dan die van de huid (circa 35°C), wordt door straling en geleiding nog warmte aan de omgeving afgestaan (8). Is het buiten warmer, dan gaat het warmtetransport in omgekeerde richting. Dan is handhaving van de lichaamstemperatuur slechts mogelijk door verdamping van zweet. Warmte-afgifte en -productie houden elkaar steeds in evenwicht (8). De grijze balk (8 en 9) is de zone, waarin de temperatuur vrijwel alleen door huidvaatreacties geschiedt.

over de marathon deden, waardoor de warmte-afgifte beter gespreid kon worden. Wanneer de warmte-afgifte veel groter is dan de warmteproductie ontstaat er zelfs onderkoeling (*hypothermie*).

Een en ander neemt echter niet weg dat oververhitting bij het leveren van zware inspanningen zoals een marathon een regelmatig terugkerend probleem is. Door die hogere lichaamstemperatuur worden allerlei lichaamsprocessen verstoord. Dat heeft niet alleen betrekking op de chemische reacties die op de een of andere manier samenhangen met de energieproductie, maar ook de impulsoverdracht in de zenuwen wordt daardoor ontregeld. Iemand die oververhit is, raakt zijn oriëntatie-

vermogen kwijt, beweegt ongecoördineerd, raakt het gevoel voor tijd kwijt en wordt duizelig. In ernstige gevallen kan dit leiden tot bewusteloosheid en uiteindelijk tot de dood.

Dorst

Bij het leveren van zware sportprestaties moet men dus regelmatig voldoende drinken. Dorst blijkt echter een slechte raadgever te zijn. Anders gezegd: mensen krijgen pas dorst als het eigenlijk al te laat is, namelijk na een verlies van tenminste 1,5 l vocht. De grens van 2% gewichtsvermindering is dan al ongeveer bereikt. Het dorstgevoel blijkt dus vertraagd te reageren op het vochtverlies.

De Nederlandse inspanningsfysioloog Binkhorst schreef in 1982 in het tijdschrift *Geneeskunde & Sport* dat lange-afstandlopers ongeveer een liter water per uur zouden moeten drinken, verdeeld in porties van ongeveer 20 ml. Costill nuanceert dit advies enigszins. Hij meent dat bijvoorbeeld duursporters best 600 ml ineens kunnen drinken. Dit heeft als voordeel dat het water sneller in het lichaam wordt opgenomen. Kleinere hoeveelheden blijven doorgaans iets langer in de maag voordat ze in de darmen worden opgenomen. Costill signaleert echter dat de meeste sportmensen het onplezierig vinden om met een volle maag te lopen of te fietsen. Daarom adviseert hij porties van 150 tot 250 ml in te nemen, met tussenpozen van 10 tot 15 minuten. In de praktijk van het wielrennen of hardlopen wordt dat door de veeldrinkers ook meestal gedaan. Langs een hardloopparcours staan vaak om de 5 km bekers met water, thee of ander vocht voor de deelnemers klaar.

Mineralen

Tot nu toe hebben we het vochtverlies bij zweet ten onrechte min of meer gelijkgesteld aan waterverlies. Transpiratievocht bevat namelijk diverse zouten: met name van de elementen natrium en chloor en in mindere mate van kalium en magnesium. Uitscheiding van lichaamsszouten via de zweetklieren is een selectief proces. De NaCl-concentratie van zweet is ongeveer eenderde van die in het bloedplasma en vijf maal zo hoog als die in de spieren. Door de relatief hoge concentratie van natrium en chloor in zweet, bestaat bij overtollig zweeten het gevaar van een tekort aan deze elementen. De Amerikaanse sportonderzoeker Costill heeft natrium- en chloorverliezen van 5 tot 7% vastgesteld bij een zweetproductie van 4 l. Dit verlies wordt enigszins gecompenseerd door een verminderde urineproductie. Toch adviseren de meeste sportonderzoekers om, bijvoorbeeld tijdens een marathon, water te drinken waarin onder meer enig keukenzout is opgelost.

Individuele sporters, maar ook wedstrijdorganisatoren menen nogal eens dat ze problemen met de warmteregulatie kunnen voorkomen door het drinken van kraanwater. Dat is een vergissing, die vervelende gevolgen kan hebben. Wanneer een groot vochtverlies na-

12. Bij duurlopen zijn op regelmatige afstanden verfrissingsposten opgesteld, zodat de lopers tussentijds kunnen 'bijtanken'.

13. Het is zaak dat vermoeide en bezwete lopers na afloop niet teveel afkoelen. De warmteproductie ligt nu immers stil, terwijl de afgifte van warmte door verdamping van zweet nog voortduurt.

14. Gevaar voor oververhitting bestaat bijvoorbeeld als een marathon bij extreme warmte gelopen wordt. Vochtverlies door zweten kan dan extreme vormen aannemen.



12

melijk alleen met water wordt aangevuld, kan dat *waterintoxicatie* (vergiftiging) veroorzaken. Wat gebeurt er in zo'n geval?

Door het tekort aan lichaamsszouten, ten gevolge van veel zweten, is het lichaam niet of onvoldoende in staat om het ingenomen water vast te houden. Het wordt versneld uitgescheiden als zweet of urine. Daarbij neemt het opnieuw een hoeveelheid lichaamsszouten mee. Na enige tijd kan de concentratie aan lichaamsszouten zo laag worden dat de persoon in kwestie onwel wordt. Ook om die reden wordt in de (wetenschappelijke) literatuur over sport en vochtregulatie aangeraden regelmatig water te drinken waaraan wat zout is toegevoegd. Over de noodzaak om ook andere elementen als kalium, magnesium en ijzer aan te vullen, lopen de meningen uiteen. Een eventueel kaliumtekort kan doorgaans makkelijk



13

worden opgeheven door het drinken van tomatensap. Grote mineraalverliezen bij zware inspanningen zoals een Tour de France of een triathlon, maken aanvulling al tijdens de wedstrijd noodzakelijk. Ook na de inspanning dient men de aanvulling van ontstane tekorten in de gaten te houden. NaCl-verlies kan men opvangen door wat extra zout in de voeding.

Energie

Om optimaal te kunnen presteren is het voor sportmensen van het grootste belang om de hoeveelheid koolhydraten in het lichaam op peil te houden. Over de meest ideale suikerconcentratie in dorstlessers is men het echter lang oneens geweest. Costill meende tot voor kort dat het drinken van bijvoorbeeld langeafstandlopers niet meer dan $25 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ mag be-

14





15

15. Op de afdeling Humane Biologie van de Rijksuniversiteit Limburg doet men onderzoek naar de snelheid, waarmee verschillende sportdranken tijdens zware lichamelijke inspanning de maag passeren. Dit gebeurt volgens een kleurverduunningsmethode, waarbij op gezette tijden een bepaalde hoeveelheid kleurstof (fenol-rood) via een slangetje in de maag wordt gebracht. Vervolgens neemt de onderzoeker monsters uit de maag, die hij op kleurintensiteit bekijkt. De kleurintensiteit is omgekeerd evenredig met de hoeveelheid vocht in de maag. Uit deze gegevens kan men berekenen hoe lang de betreffende sportdrank in de maag blijft.

Koud of warm

Het drinken dat wedstrijdorganisatoren tijdens bijvoorbeeld een lange-afstandlooptoer aanbieden wisselt nogal eens van temperatuur. Soms krijg je warme thee, de andere keer koud water en weer een ander biedt lauwe sinaasappelpartjes aan. Wat verdient de voorkeur? Daarover zijn de meningen nauwelijks verdeeld: koud drinken is beter dan lauw of warm.

Koud drinken wordt eerder opgenomen in het lichaam dan bijvoorbeeld warme thee. Als de maag sterk afkoelt, worden de spieren in de maagwand geactiveerd. Daardoor verlaat het vocht sneller de maag, met als gevolg dat het water eerder in het lichaamsvocht wordt opgenomen. Sommige sportmensen zijn echter bang dat ze van koud drinken maagkrampen of zelfs hartproblemen krijgen, maar het sportmedisch onderzoek heeft tot nu toe geen relatie kunnen leggen tussen koud drinken en zulke klachten. Kortom, wanneer men tijdens zware sportprestaties regelmatig iets drinkt om de vocht- en temperatuurregulatie van het lichaam op peil te houden, moet dat bij voorkeur iets kouds zijn. Wanneer iemand een marathon loopt in de winter, is het drinken van koud water uiteraard discutabel.

I-1. Hoog in de bergen staat een lichaam bloot aan grote temperatuurwisselingen van de omgeving. Terwijl het overdag in de bergen aangenaam van temperatuur kan zijn, is het na zonsondergang vaak bitter koud. Een warme drank kan op zulke momenten helpen om op temperatuur te blijven. Dat de vochtbehoefte van ons lichaam op grote hoogte extra groot is, staat buiten kijf. Het vochtverlies, met name via de luchtwegen, kan namelijk hoog oplopen. De lage luchtvochtigheid (en soms een straffe wind) bevordert de verdamping. Een bijkomende factor is het lagere zuurstofgehalte van de lucht, waardoor de ademhalingsfrequentie nog eens wordt opgevoerd om aan de zuurstofbehoefte te voorzien.



I-1

vatten. Brinkhorst adviseerde nog recent een maximum van 60 g.l^{-1} . Een argument om de hoeveelheid glucose in sportdranken te beperken is dat dranken met een hoge concentratie glucose te lang in de maag blijven. Daardoor wordt de opname van water in het lichaam vertraagd. Wanneer iemand 400 ml water drinkt, is 60 tot 70% daarvan na 15 min de maag gepasseerd, maar wanneer men dat in water 40 g glucose oplost, zal na een kwartier pas zo'n vijf procent de darm bereikt hebben. Recent onderzoek heeft overigens aan het licht gebracht dat men de maagpassage ook kan versnellen door de glucose te vervangen door meer complexe suikerverbindingen. In commerciële sportdrankjes gebruikt men in toenemende mate glucosepolymeren (maltodextrines) in combinatie met fructose. Het blijkt namelijk dat de combinatie van die twee de snelste maagpassage geeft.

Wat is de meest ideale manier om vochtver-

lies tijdens zware inspanningen aan te vullen? De een drinkt bij voorkeur thee met suiker, de ander gebruikt altijd commerciële dorstlessers en weer iemand anders meent dat duursporters het meest gebaat zijn bij water met citroensap. Uit enkele studies ontstaat de indruk dat tot voor kort de commerciële dorstlessers niet beter waren dan een zelfgemaakte suikeroplossing met een beetje zout. De Nijmeegse sportonderzoekster Van Erp meent bovendien dat veel commerciële sportdranken te sterk geconcentreerd zijn. Veel gebruikers ervan prefereren een veel sterkere verdunning dan door de fabrikant wordt aanbevolen. Dit geldt echter niet voor de isotone sportdorstlessers die de laatste tijd op de markt zijn gekomen. Deze dranken komen qua osmotische waarde overeen met het lichaamsvocht, waardoor een snelle opname gewaarborgd is. De hoeveelheden koolhydraten en mineralen zijn hierin nauwkeurig afgewogen.



Met dank aan Maria Agnes van Erp van het Fysiologisch laboratorium van de K.U. Nijmegen en drs Fred Brouns van de vakgroep Humane Biologie van de Rijksuniversiteit Limburg, voor hun adviezen.

Literatuur

- Binkhorst R *et al.* Inspanning en warmtebalans. *Geneeskunde & Sport* 1982; 15.
 Brouns F *et al.* Gastro-intestinale stoornissen bij intensieve inspanning van lange duur. *Voeding* 1986; 47,9.
 Costill D *et al.* Nutrition for Endurance Sport. *International Journal of Sports and Medicine* 1980; 1.
 Wijn J. de *et al.* Fysiologie van de Voeding. Utrecht: Bohn Scheltema Holkema, 1985.
 Konopka P. Sport, Ernährung, Leistung. Osthofen: Wanders, 1980.

Bronvermelding illustraties

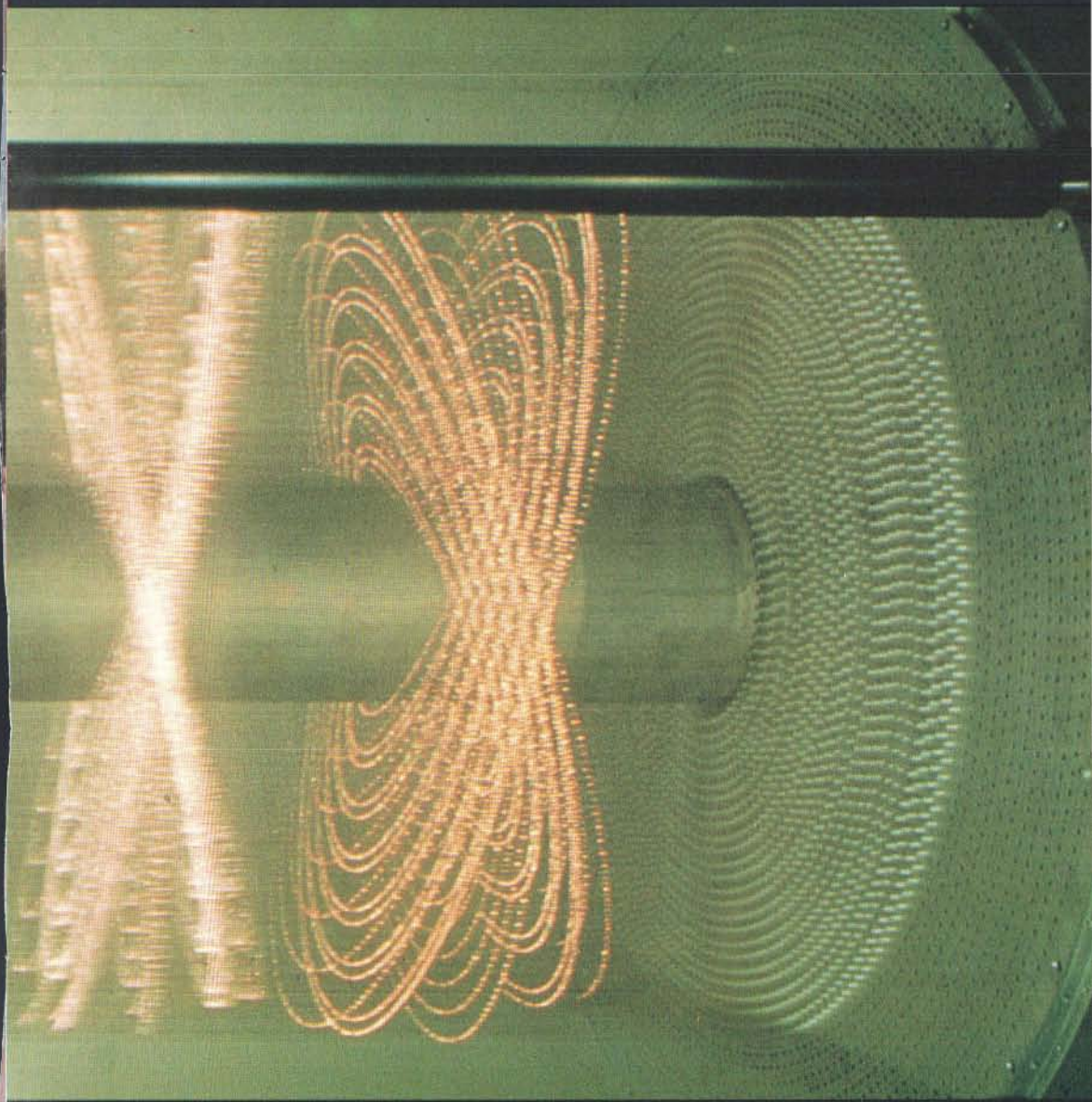
- Uit: R.G. Kessel en R.H. Kardon, Cellen, Weefsels en Organen. Centr. Uitg, Maastricht, 1983; 1, 2.
 ABC-press, Amsterdam: 4, 13.
 Brouns F, Bemelen: 5, 12, 15.
 Theo van de Rakt, Oss: 6.
 ANP, Amsterdam: 7, 1-1.
 Soenar Chamid, Diemen: opening, 1.
 Transworld Features Holland B.V.: 14.



DE STERKE KERNKRACHT

De vraag uit welke elementen materie is opgebouwd is zo oud als de wetenschap zelf. Het zoeken naar een antwoord ging gepaard met een gestage toename van het aantal elementaire deeltjes. Om de interacties tussen die deeltjes

te kunnen begrijpen, was het nodig om het bestaan van bepaalde kernkrachten te veronderstellen. Wat we ons moeten voorstellen bij zo'n kernkracht wordt uit de doeken gedaan aan de hand van de sterke kernkracht.



Een type detector dat veel gebruikt wordt in de elementaire-deeltjesfysica is de dradenkamer. Met dit instrument kan de baan van geladen deeltjes gevolgd worden. De ruimte in de detector is gevuld met duizenden zeer dunne draden, waarin een stroompje wordt opgewekt als een geladen deeltje het dicht nadert.

R.A. Kunne
CERN, Genève

De sterke kernkracht

Voor zover wij weten kunnen alle verschijnselen in het heelal begrepen worden, uitgaande van vier natuurkrachten. Op macroscopisch niveau zijn de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht het belangrijkste. De eerste is de kracht die planeten, sterren en melkwegstelsels in hun banen houdt. De elektromagnetische kracht is verantwoordelijk voor alle elektrische en magnetische verschijnselen.

De andere twee krachten, de zwakke en de sterke kernkracht, werken alleen binnen de atoomkern, dus over zeer korte afstanden. De zwakke kernkracht is de oorzaak van het radioactieve verval van sommige atoomkernen. En – van groot belang voor het leven op aarde – de eerste stap in de complexe reeks van kernfusiereacties in het binnenste van de zon, vindt plaats door de werking van de zwakke kernkracht.

De sterke kernkracht is van de vier krachten veruit de sterkste. Deze kracht bindt protonen en neutronen tot atoomkernen. Ons begrip van de manier waarop dat gebeurt is de laatste twintig jaar nogal gewijzigd. Dit artikel beschrijft hoe de kennis van de sterke wisselwerking is geëvolueerd.

Krachten en krachtvoerende deeltjes

Wat is een kracht? Hoe laat een deeltje zijn aanwezigheid voelen aan een tweede deeltje, dat zich op zekere afstand bevindt? De Engelse theoreticus Paul A.M. Dirac heeft in van de jaren twintig op deze vragen het antwoord gegeven. Hij liet zien hoe bij de elektromagnetische kracht fotonen impuls overdragen van het ene geladen deeltje op het andere. Fotonen functioneren zo als *krachtvoerend* deeltje.

Dirac was één van de pioniers van de quantummechanica, die een revolutie betekende in het natuurkundig denken. Bij deze omwente-

Het standaardmodel van de deeltjesfysica

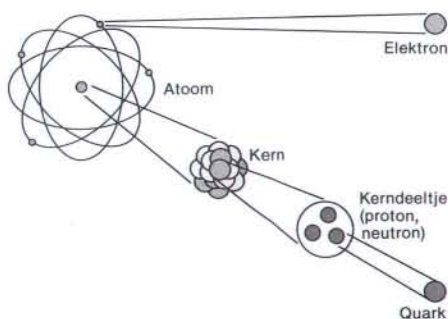
In 1977 vatten de theoretische fysici alle kennis van de elementaire deeltjes samen in het standaardmodel. Volgens dit model bestaat alle materie uit twee soorten deeltjes: *quarks* en *leptonen*. Er zijn zes quarks met de wat wonderlijk aandoende namen up, down, charm, strange, top en bottom. Er zijn eveneens zes leptonen. Het bekendste is het elektron; daarnaast bestaan het muon, het tauon, het elektronneutrino, het

mounneutrino en het tauonneutrino. De quarks en leptonen worden gerangschikt in drie families (zie tabel I-1). De drie families zijn kopieën van elkaar; ze verschillen alleen in massa. Gewone materie bestaat uitsluitend uit deeltjes van de lichtste familie. De andere deeltjes kunnen alleen in het laboratorium geproduceerd worden.

Alle quarks en leptonen hebben een antideeltje, dat in sommige opzichten een exacte kopie is van het deeltje, in andere opzichten er het spiegelbeeld van vormt. Zo hebben het elektron en het anti-elektron, het *positron*, dezelfde massa, maar verschillende elektrische en magnetische eigenschappen.

Quarks en antiquarks zijn bouwstenen van de elementaire deeltjes. Deze vallen in twee groepen uiteen: de *baryonen*, die uit drie quarks bestaan en de *mesonen*, die uit een quark en een antiquark zijn opgebouwd. Voorbeelden van baryonen zijn het proton en het neutron. Elders in dit

I-1



I-1. Atomen bevatten één type lepton, het elektron. De kern is opgebouwd uit protonen en neutronen, die elke uit drie quarks bestaan.



1. Op de foto van het CERN-complex bij Genève zijn de diverse versnellers getekend. De Large Electron Positron Ring (LEP) is in aanbouw en heeft een diameter van 8,5 km. Het Super Proton Synchrotron (SPS) meet 2,2 km.

Tabel I-1. De fundamentele deeltjes en hun massa's ($\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$)

Quarks		Leptonen	
Up	~ 5	Elektron	0,511
Down	~ 10	Elektronneutrino	0
Strange	~ 500	Muon	105,7
Charm	~ 1500	Muonneutrino	0
Bottom	~ 4700	Tauon	1784
Top	?	Tauoneutrino	0

Tabel I-2. De vier natuurkrachten

Kracht	Krachtvoerende deeltjes	Relatieve sterkte	Werkend tussen
Sterke kernkracht	Gluonen	100	Quarks
Elektromagnetische kracht	Foton	1	Geladen deeltjes
Zwakke kernkracht	W- en Z-bosonen	10^{-6}	Quarks en leptonen
Zwaartekracht	Graviton	10^{-40}	Deeltjes met massa

artikel komen we nog voorbeelden van mesonen tegen.

Daarnaast onderscheidt men nog de *bosonen*. Dat zijn de krachtvoerende deeltjes van de vier natuurkrachten. Elke kracht heeft zijn eigen karakteristieke boson (zie tabel I-2). Alle tot nog toe genoemde deeltjes zijn direct of indirect waargenomen, met één uitzondering: het *graviton*, het krachtvoerend deeltje van de zwaartekracht. Het bestaan van dit deeltje wordt op theoretische gronden aangenomen, al was het alleen maar omdat het wat vreemd zou uitzien als één van de vier natuurkrachten géén boson zou kennen.

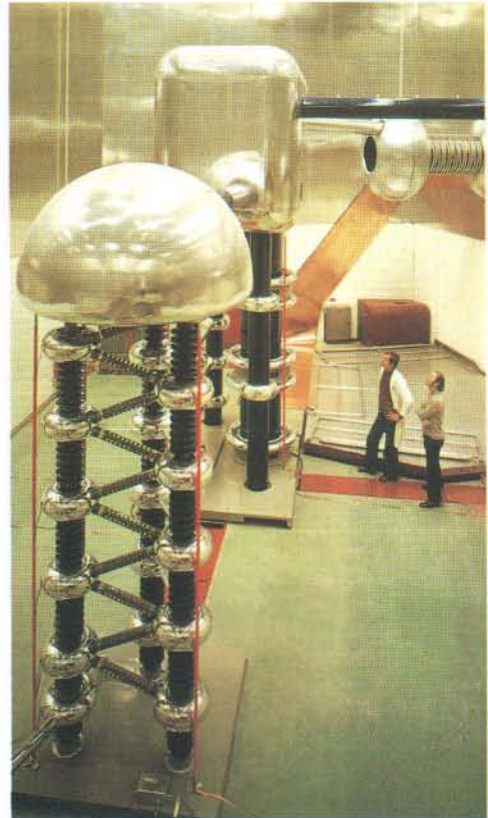
Naast de quarks, leptonen en bosonen voorspelt het standaardmodel ook het bestaan van het zogenaamde *Higgs-deeltje*. Ook dit deeltje is niet waargenomen, maar wel noodzakelijk uit theoretische overwegingen. Men is er namelijk in geslaagd aan te tonen dat de elektromagnetische kracht en de zwakke kernkracht in feite twee vormen van één kracht zijn. Het Higgs-deeltje is nodig om te verklaren dat het foton, de drager van de elektromagnetische kracht, geen massa bezit, terwijl de W- en Z-bosonen van de zwakke kernkracht juist heel zwaar zijn.

ling werden de begrippen van de klassieke natuurkunde volgens Newton, aan de kant gezet. De quantummechanica is niet gebaseerd op zekerheden, maar kent aan het plaatsvinden van gebeurtenissen een zekere waarschijnlijkheid toe. Op het eerste gezicht spotten de nieuwe wetten met de logica, maar de klassieke natuurkundigen, waaronder Albert Einstein, liepen er tevergeefs storm tegen.

Dirac gaf de volgende beschrijving van het mechanisme van de elektromagnetische kracht. Geladen deeltjes, zoals het elektron en het proton, zenden voortdurend fotonen uit om ze vervolgens weer te absorberen. Dat proces van emissie en absorptie is in strijd met de wet van behoud van energie, omdat de energie van het deeltje en het foton samen, groter is dan de energie van het geladen deeltje alleen. Een vondst van de quantumfysica is echter, dat de wet van behoud van energie gedurende een korte tijd Δt kan worden geschonden met een energieverschil ΔE , mits geldt:

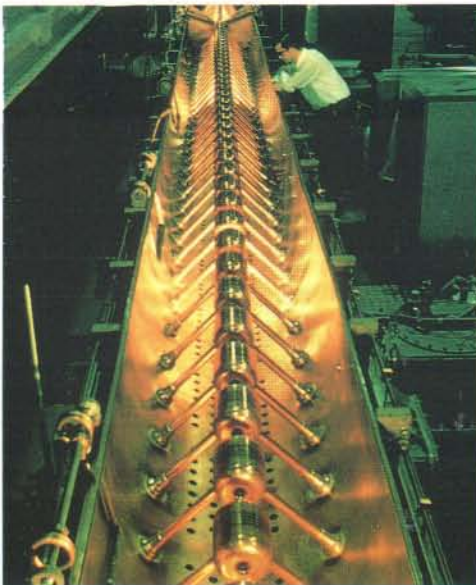
$$\Delta E \times \Delta t \approx h/(2\pi) \quad (1)$$

waarbij h de constante van Planck ($6,6 \cdot 10^{-34}$ Js) is, de fundamentele constante van de quantummechanica. Wanneer een tweede geladen deeltje in de buurt van het



3

2



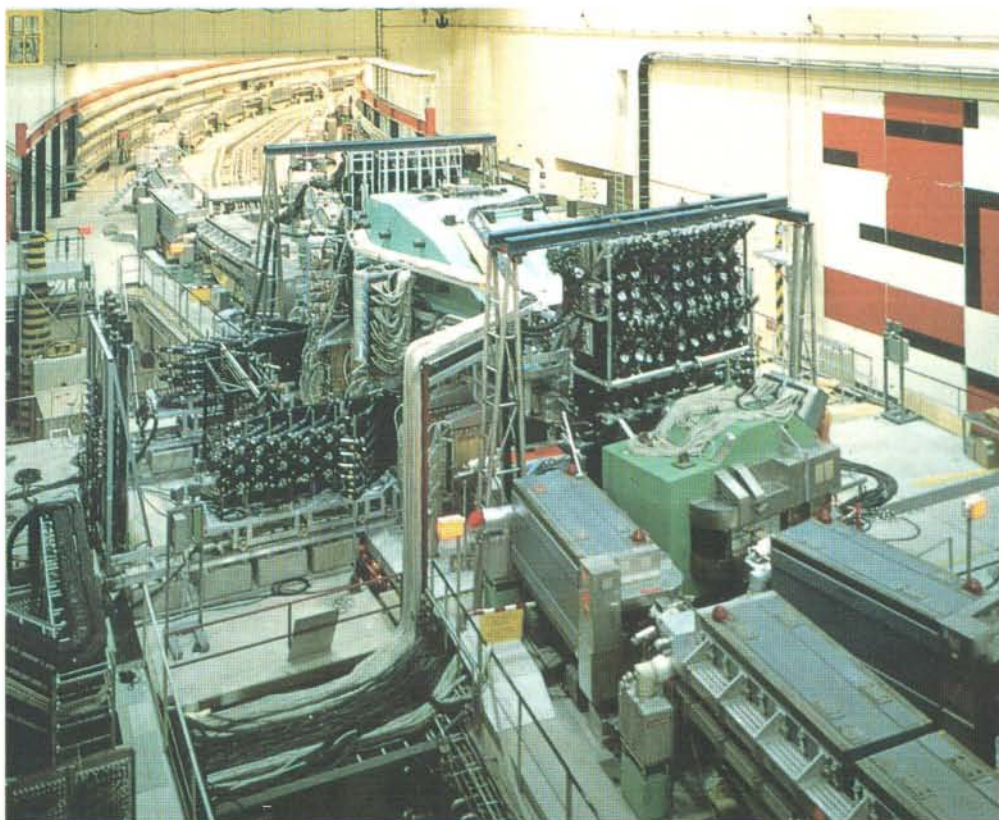
2. Protonbundels die voor experimenten bij CERN gebruikt worden, moeten tot hoge energieën opgejaagd worden. In eerste instantie gebeurt dat met deze lineaire versneller, die de protonen tot 50 MeV brengt.

3. De protonen worden gemaakt met behulp van elektrische ontladingen in een ruimte met waterstofgas. Deze Cockroft-Waltongenerator levert daarbij benodigde spanning.

4. De plaats waar protonenbundels (of protonen en anti-protonen) op elkaar botsen. De ene bundel komt van voor, de andere van achter.

eerste komt, kan het gebeuren dat een foton van het ene deeltje wordt geabsorbeerd door het andere. Het resultaat is dat de energie ΔE en de daarmee samenhangende impuls Δp die het foton bezit wordt overdragen: het tweede deeltje voelt een kracht ten gevolge van de aanwezigheid van het eerste deeltje.

Bij de elektromagnetische wisselwerking zijn het dus fotonen die de kracht voeren.



4

Zo'n foton kan elke mogelijke energie ΔE meekrijgen bij zijn ontstaan en leeft een tijd Δt die ermee correspondeert. Naarmate de foton-energie ΔE groter is, is de levensduur Δt van het foton kleiner. Het gevolg is dat zich dichtbij het geladen deeltje veel fotonen ophouden met een relatief grote energie: de elektromagnetische kracht is er sterk. Daarentegen leven alleen fotonen met weinig energie lang genoeg om zich ver weg van het geladen deeltje te verwijderen: op grote afstand is de kracht zwak. Wiskundige berekeningen laten zien dat de sterkte van het elektromagnetische krachtveld van een deeltje — de potentiaal U — omgekeerd evenredig is met de afstand r :

$$U(r) = -Q \cdot r^{-1} \quad (2)$$

waarbij Q de lading van het deeltje is. De lading is een maat voor het gemak waarmee fotonen door het deeltje geëmitteerd worden. Bij

een grotere Q worden meer fotonen geëmitteerd.

Dirac werkte zijn ideeën uit voor de elektromagnetische kracht. In die tijd veronderstelde men namelijk, dat twee krachten in het universum voldoende waren om de bewegingen en wisselwerking van al zijn onderdelen te verklaren: de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht. De laatste is verreweg de sterkste van de twee, maar werkt uitsluitend tussen deeltjes met lading. Materie als zodanig is echter neutraal en op de schaal van planeten en sterren domineert daarom de zwaartekracht.

De kernkrachten

In Diracs tijd dacht men dat atoomkernen uit protonen en elektronen waren opgebouwd. Het gegeven dat een koolstofatoom twaalf maal zo zwaar is als een waterstofatoom, terwijl er maar zes elektronen omheen zwermen,

kon verklaard worden door te stellen dat de kern twaalf protonen en zes elektronen bevat. Daarmee werden de massa en de lading kloppend gemaakt. In 1932 ontdekte de Engelse natuurkundige James Chadwick echter het neutron. Dit bracht het totaal der ontdekte elementaire deeltjes op vier. Al gauw werd daarna duidelijk, dat atoomkernen uit protonen en neutronen bestaan.

De gedachte dat atoomkernen alleen uit positieve en neutrale deeltjes bestaan, was problematisch. De positief geladen protonen in de kern zouden elkaar moeten afstoten, de zwaartekracht is veel te zwak om dit tegen te gaan. Als er slechts twee natuurkrachten waren, dan zouden alle atoomkernen met meer dan één proton instabiel moeten zijn en in korte tijd uiteenvallen.

De conclusie ligt voor de hand: er moet nog een natuurkracht bestaan, een kernkracht die sterk genoeg is om de atoomkern bijeen te houden, tegen de afstotende krachten in. Bovendien moet deze kracht alleen op korte afstand werken. Buiten de kern heerst de elektromagnetische kracht en is er van een kernkracht immers niets te merken.

In 1934 publiceerde de Italiaanse fysicus Enrico Fermi een artikel, waarin hij aantoonde dat een vierde kracht, de *zwakke kernkracht*, een verklaring levert voor het radioactieve verval van sommige kernen. Qua sterkte ligt de zwakke kracht in tussen de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht. Deze kracht kan dus niet verantwoordelijk zijn voor de stabiliteit van de meeste atoomkernen: net als de zwaartekracht is ze te zwak. Het jaar daarop werkte de Japanner Hideki Yukawa de theorie voor een *sterke kernkracht* uit.

De mesontheorie van Yukawa

Yukawa ging voor de beschrijving van de sterke kernkracht van dezelfde principes uit als Dirac. De *nucleonen* of kerndeeltjes die de sterke kernkracht voelen, zoals protonen en neutronen, wisselen onderling deeltjes uit. Yukawa noemde deze hypothetische krachtoverdragende deeltjes *π -mesonen* of *pionen*.

De verschillen tussen de elektromagnetische kracht en Yukawa's kracht zijn groot. Bij elektromagnetische interacties blijft de lading van de reagerende deeltjes gelijk: het foton is ongeladen, zodat er wel energie, maar geen lading wordt overgedragen. Er bestaan echter kernreacties zoals

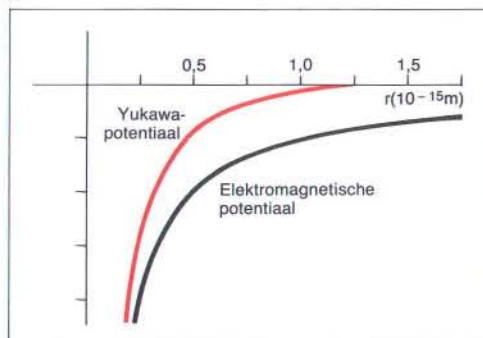


waarbij een neutron wordt omgezet in een proton. Dit soort reacties maakt duidelijk dat pionen wel lading kunnen overdragen. Er bestaan drie variëteiten van het π -meson: π^+ , π^- en π^0 , die respectievelijk positief, negatief en niet geladen zijn.

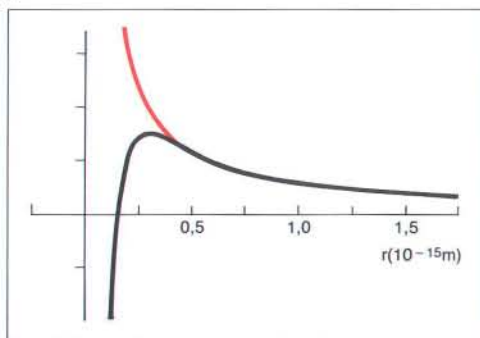
Een ander verschil met de elektromagnetische wisselwerking is de dracht. De sterke kernkracht is alleen over nucleaire lengten werkzaam, afstanden in de orde van 10^{-13} meter. Deze korte dracht maakt het mogelijk om een schatting te maken van de massa van het pion.

Yukawa redeneerde dat wanneer pionen massa bezitten, en niet massa nul zoals het foton, zij altijd de minimale energie bezitten die nodig is om die massa te creëren. Die minimale energie van het deeltje correspondeert via formule (1) met een zekere tijd Δt , waarin de pio-

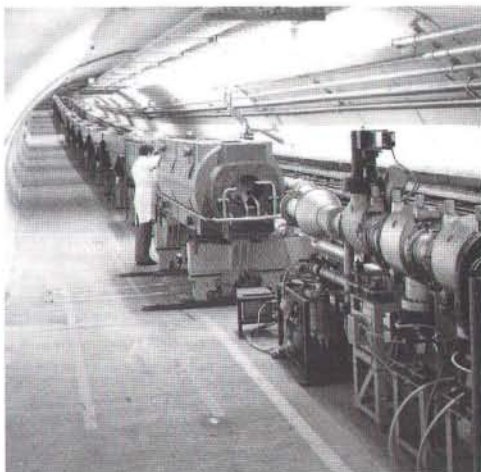
5



6



nen bestaan, alvorens geabsorbeerd te worden, en dus ook met een zekere dracht. Pionen, die geëmitteerd worden met meer dan de minimale energie hebben een kortere tijd van bestaan en dus een kortere dracht. De minimale energie komt dus overeen met de maximale dracht, ongeveer 10^{-13} meter. Yukawa schatte op deze wijze, dat de massa van het pion ongeveer $140 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$ zou moeten zijn. (De eenheid van energie in de hoge-energiefysica is de elektronvolt (eV). Deze eenheid is gedefinieerd als de energietoename van een elektron dat een potentiaalverschil van één volt doorloopt: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Massa's van deeltjes worden uitgedrukt in de eenheid $\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}$, afgeleid uit de formule $M = E \cdot \text{c}^{-2}$. De massa van een proton is bijvoorbeeld $938 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$, ofwel $1,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$).



7

5. De potentialen van de elektromagnetische kracht (zwart) en de Yukawa-potentiaal uitgezet tegen de afstand in 10^{-15} m . Wanneer de potentiaal positief is voelt een deeltje een afstotende kracht. Een negatieve potentiaal is daarentegen aantrekkend.

6. De potentiaal van de atoomkern is de som van de elektromagnetische potentiaal en een Yukawa-achtige potentiaal. De laatste is de som van de velden van alle nucleonen in de atoomkern. Zonder sterke kracht was de potentiaal altijd positief (gekleurde lijn) en zou de kern uiteenvallen.

7. In de tunnel van het Super Proton Synchrotron bij CERN staan afbuigings- en focuseringsmagneten, om de deeltjes in de cirkelbaan te houden. Het apparaat op de voorgrond is een vacuümpomp.

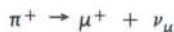
In de potentiaal van de sterke wisselwerking komt de eindige dracht R ook tot uitdrukking. De Yukawa-potentiaal wordt gegeven door

$$U(r) = -g \cdot e^{-r/R} \cdot r^{-1} \quad (3)$$

waarin $R = \hbar \cdot (2\pi mc)^{-1}$. In deze formule vervult g eenzelfde rol als de elektrische lading Q in formule (2). Men noemt g wel de *nucleaire lading* van het deeltje. Uit de twee potentialen blijkt de overeenkomst tussen beide mechanismen. Het foton heeft massa nul en substitutie van $m = 0$ in (3) levert de elektromagnetische potentiaal van (2) op.

De ontdekking van de mesonen

Kort na Yukawa's publikatie, werden er inderdaad deeltjes met ongeveer de voorspelde massa ($105 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$) ontdekt in experimenten met nevelkamers. Deze deeltjes, *μ -mesonen* of *muonen* genoemd, reageerden echter veel minder makkelijk met materie dan men verwachtte van pionen. In 1947 suggereerden Hans Bethe en R. Marshak, dat er twee verschillende deeltjes in het spel waren. De lichte muonen zijn het vervalproduct van de zwaardere pionen. In speciale fotografische emulsies die op de Pic du Midi, hoog in de Pyreneeën, werden blootgesteld aan de kosmische straling, registreerden Lattes en zijn medewerkers gebeurtenissen die overeenkwamen met het verval van een pion in een muon en een neutraal deeltje (het neutrino):



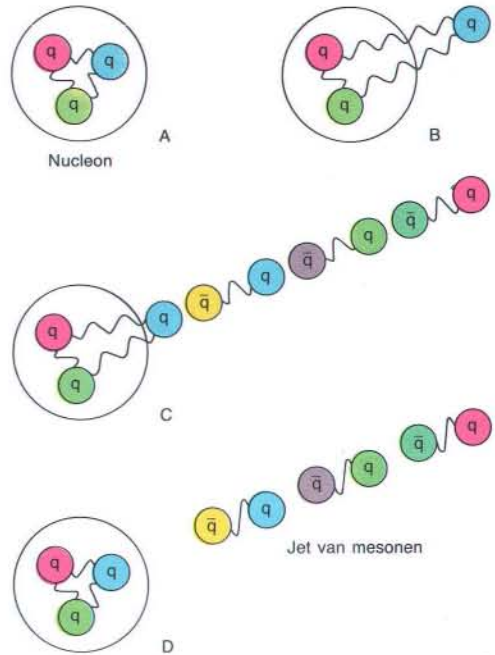
Het pion was ontdekt twaalf jaar nadat Yukawa zijn bestaan had voorspeld. De geladen pionen bleken een massa van $139,6 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$ te hebben, het π^0 was iets lichter, $135 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$.

Daarbij bleef het echter niet. Na 1950 kwam de elementaire-deeltjesfysica in een stroomversnelling door de uitvinding van de deeltjesversneller. Tegenwoordig is de versneller het werkpaard van de deeltjesfysica. Met deze machines is het mogelijk bundels deeltjes met grote energie te laten botsen op een doelwit. De mate waarin de deeltjes reageren, levert informatie over de krachten die er een rol bij spelen. Bovendien worden uit de energie die bij de botsingen beschikbaar komt, andere deeltjes gecreëerd. Binnen tien jaar werden vele nieuwe

elementaire deeltjes ontdekt. Een aantal van deze deeltjes heeft soortgelijke eigenschappen als het pion, maar een grotere massa. Het ρ -meson bijvoorbeeld, heeft een massa van $770 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$ en valt in korte tijd uiteen in twee pionen. Net als het pion komt de ρ voor met drie ladingstoestanden. Alles wees erop dat ook dit meson een krachtvoerend deeltje van de sterke kracht was. En zo waren er meer.

Voor Yukawa's theorie kwamen deze nieuwe mesonen als geroepen. Het onderzoek van de sterke kernkracht, dat met deeltjesversnellers mogelijk is, bevestigde globaal Yukawa's ideeën: bij interacties waarbij de kerndeeltjes elkaar niet te dicht naderden vertoonde de sterke kernkracht het voorspelde gedrag. Maar wanneer de kerndeeltjes elkaar dicht naderen is dat anders: in dat geval is het mogelijk dat er meer dan één pion wordt uitgewisseld, of dat er andere soorten mesonen, zoals het ρ -meson, aan de interactie deelnemen.

Door de vele manieren waarop de kracht tussen de deeltjes kan wisselwerken, is het ondoenlijk de exacte vorm van de potentiaal vast te stellen. Toch bestaan er verschillende modellen, die elk hun sterke en zwakke punten blijken te hebben men de voorspellingen met de experimentele resultaten vergeleken worden. Elk model gaat uit van een beperkt aantal mesonen om de interactie te beschrijven. De nucleaire ladingen g voor elk meson worden zorgvuldig zo gekozen, dat het model zo goed mogelijk met de werkelijkheid overeenstemt. Zware mesonen, die de vorm van de potentiaal bepalen bij kleine waarden van r , laat men buiten beschouwing: hier wordt een vorm voor de potentiaal gekozen die 'past'.

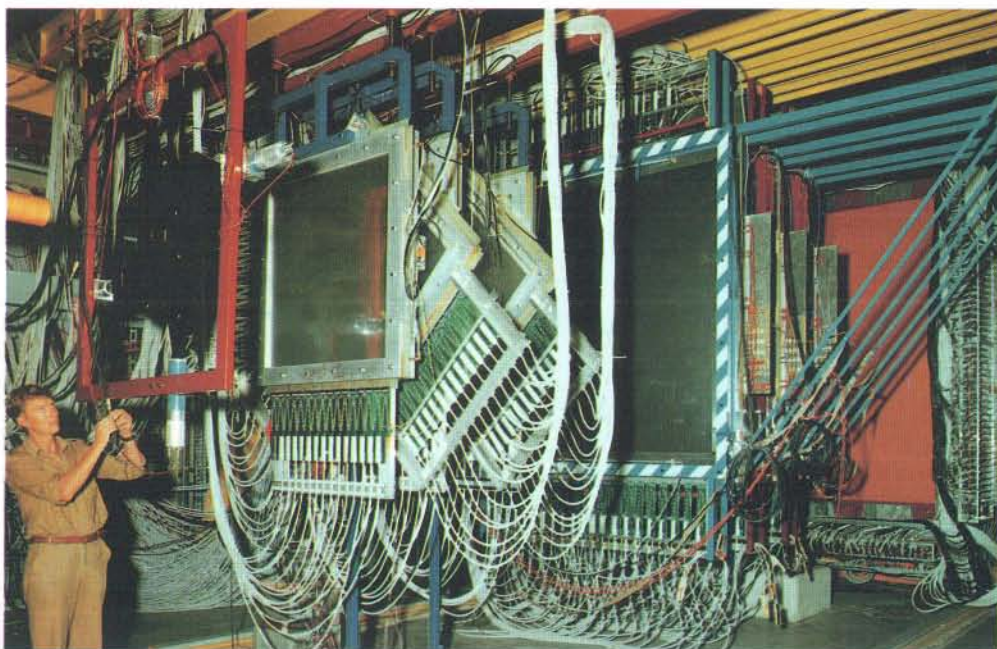


8. Quarks bestaan in zes typen, die ieder in drie kleuren voorkomen. De term 'kleur' heeft hier niets met de dagelijkse betekenis van het woord te maken. Het is alleen een handige type-indeling, omdat men dan ook beeldende kleurcombinaties kan uitzoeken. Zo kan men de antiquarks met de complementaire kleur aanduiden. Quarks en antiquarks rangschikken zich steeds zo dat de combinatie 'wit' is. Een proton bijvoorbeeld bestaat uit twee up-quarks en een down-quark en steeds zo dat er van iedere kleur één is. Welke precies de blauwe is, doet daarbij niet terzake.

9. De werking van de sterke kernkracht op de schaal van de quarks. (A) In het nucleon zitten de drie quarks dicht bij elkaar. Zij voelen geen kracht. 'Het elastiek tussen de

8

	Quarks			Antiquarks		
Up quark						
Down quark						
Charmed quark						
Strange quark						
Top quark						
Bottom quark						



10

quarks is slap'. (B) Wanneer we proberen één van de quarks uit het nucleon te schieten wordt de sterke kracht voelbaar. 'Het elastiek tussen de quarks rekt uit'. (C) Op een bepaald moment wordt de kracht zo groot, dat de energie die is opgeslagen in het systeem wordt omgezet in massa: er vormen zich quark-antiquarkparen ($q\bar{q}$), ofwel mesonen. 'Het elastiek breekt in stukken en op de uiteinden zitten opnieuw (anti)quarks'. (D) In plaats van één losse quark, is een 'jet' van nieuwe mesonen gecreëerd uit de energie die in het systeem zat opgeslagen.

10. Het zoeken naar de kleinste deeltjes uit het universum vergt in de inzet van zeer omvangrijke apparatuur. Hier hangt een serie dradenkamers klaar voor een experiment bij CERN.

Quarks en gluonen

Aan het einde van de jaren zestig vormde de theorie van de sterke kernkracht een redelijk bevredigend geheel. In een ander gebied van de elementaire-deeltjesfysica werd echter een ontdekking gedaan, die de zaak in een totaal ander licht zette. Experimenten waarbij men hoogenergetische elektronbundels liet botsen op protonen, toonden aan dat het proton een inwendige structuur bezit. De resultaten van deze experimenten kunnen niet begrepen worden, als men het proton als een puntvormig

deeltje beschouwt. In werkelijkheid zijn sommige gebieden in het proton harder dan andere delen. Men concludeerde dat het proton zelf weer is samengesteld uit kleinere deeltjes, die men *quarks* noemde.

De ontdekking van dit nieuwe niveau van elementaire deeltjes betekende een grote stap voorwaarts in het kwalitatieve begrip van de sterke kernkracht. De krachten die optreden tussen twee nucleonen zijn in werkelijkheid de randeffecten van de krachten tussen de quarks waaruit de nucleonen zijn opgebouwd. Men kan dit vergelijken met iets soortgelijks in de scheikunde: de Vanderwaalskrachten, die optreden tussen molekulen zijn het bijeffect van de elektrische krachten tussen de samenstellende atomen.

Er bestaan zes quarks, die in drie vormen ('kleuren') kunnen voorkomen. Elke quark heeft voor iedere kleur een antiquark, met antikleur uiteraard. Een antiquark is het exacte spiegelbeeld van het corresponderende quark. De elektrische lading van een antiquark bijvoorbeeld, is tegengesteld aan de lading van de bijbehorende quark. Nucleonen zijn opgebouwd uit drie quarks; het proton bijvoorbeeld uit twee up-quarks en een down-quark.

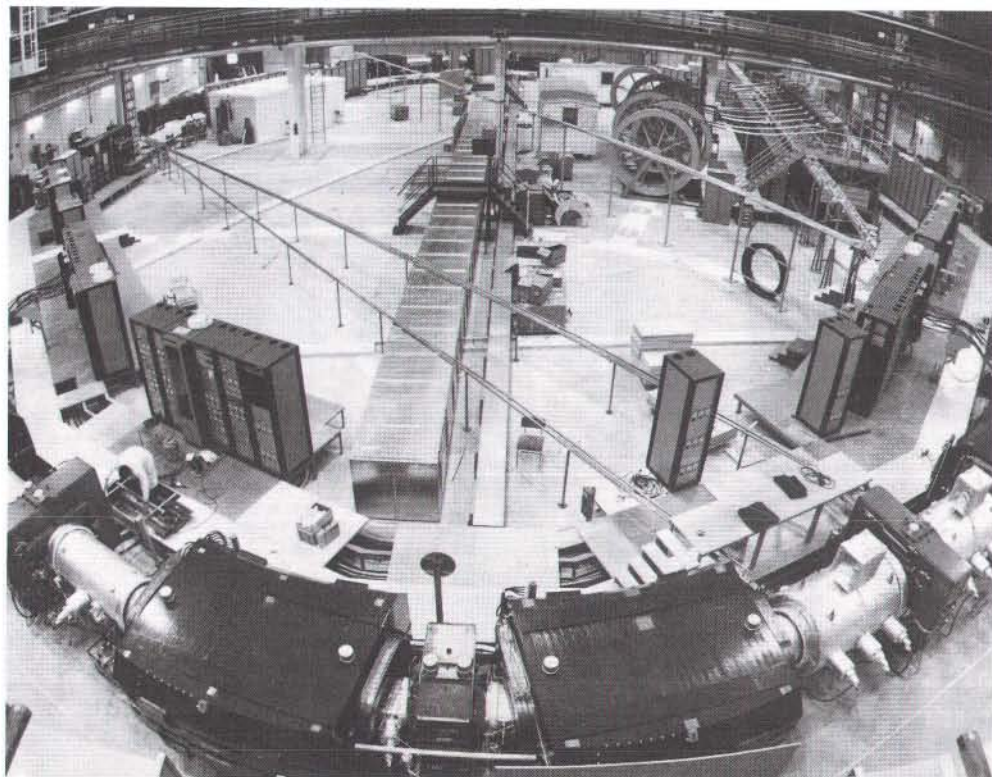
Mesonen bestaan uit een quark en een anti-quark; bijvoorbeeld het π^- -meson bestaat uit een downquark en een anti-upquark.

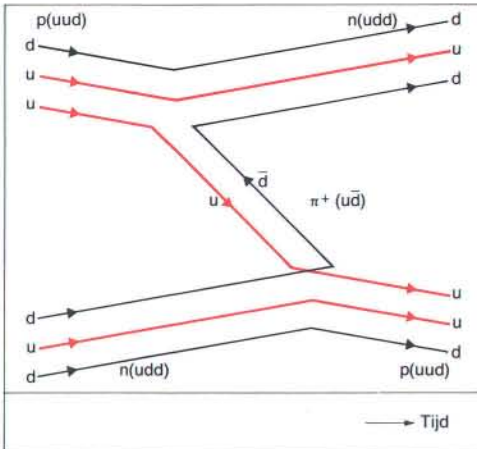
Ook de krachten tussen quarks onderling worden beschreven met behulp van krachtvoerende deeltjes, *gluonen* ('lijmdeeltjes' in goed Nederlands). De aard van wisselwerking tussen quarks is echter verschillend van die van de wisselwerking tussen geladen deeltjes of tussen nucleonen. De twee laatstgenoemden zijn sterk op korte afstand en nemen af naarmate twee deeltjes zich op grotere afstand van elkaar bevinden. De wisselwerking tussen twee quarks wordt juist sterker bij toenemende afstand. Twee quarks, die zich dicht genoeg bij elkaar in de buurt bevinden, voelen helemaal geen kracht. Maar wanneer we bijvoorbeeld een proton proberen te splitsen in de samenstellende quarks, dan doet de kracht zich voelen. Het is alsof de 'lijm' de quarks met elastische banden aan elkaar verbindt. Meer energie gebruiken om de quark vrij te maken, levert geen resultaat op: het elastiek van de gluonen breekt

op verschillende plaatsen en op de uiteinden van de afgebroken stukken vormen zich quark-antiquarkparen, mesonen dus. Het resultaat is dus dat er geen losse quarks ontstaan, maar dat de toegevoerde energie gebruikt wordt om nieuwe deeltjes te maken.

Door deze merkwaardige vorm van de sterke wisselwerking, zijn de theoretici niet in staat om de berekeningen net zo goed met de werkelijkheid overeen te laten stemmen, als het geval is bij de elektromagnetische wisselwerking. Bij interacties op korte afstanden, bijvoorbeeld bij experimenten waarbij de deeltjes met grote energie op elkaar worden geschoten, werkt de gluontheorie. Maar op grotere afstand waar de wisselwerking zo sterk is, dat het elastiek tussen de quarks breekt en mesonen ontstaan, geeft Yukawa's theorie de beste resultaten. Daartussen ligt een overgangsgebied, een theoretisch niemandsland, waar beide theorieën tekort schieten: de berekeningen zijn domweg te gecompliceerd om resultaten te kunnen geven.

11

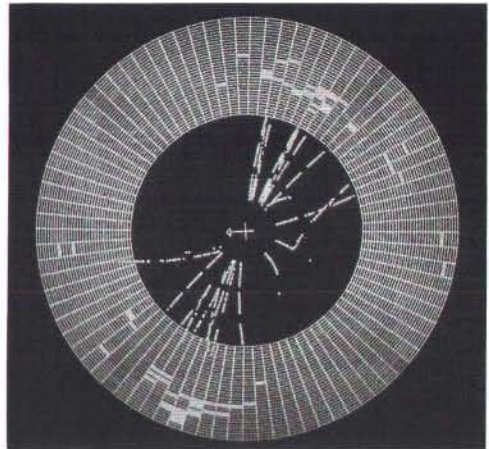




12

11. De Antiproton Accumulator (AA) bij CERN. In deze machine worden antiprotonen verzameld en opgeslagen. De antiprotonen worden zeer nauwkeurig in een ideale baan gehouden. Daartoe dienen onder andere de koperen buizen van het koelsysteem; een uitvinding van Nobelprijswinnaar Simon van der Meer.

12. Een Feynman-diagram van de wisselwerking tussen



13

een proton en een neutron. Het proton bestaat uit twee up- en één down quark (uud), het neutron uit twee down- en één upquark (udd). Bij de uitwisseling worden een up- en een antidownquark ($u\bar{d}$) uitgewisseld, dat is een positief pion in termen van het mesonmodel.

13. Computerregistratie van een botsingsexperiment, waarbij iedere lijn een spoor van een deeltje is.

Experimenten met antimaterie

Het verhaal over de sterke wisselwerking zou hiermee voltooid kunnen zijn, ware het niet dat er antiprotonen bestaan. Het antiproton is een vertegenwoordiger van een klasse van deeltjes, die niet uit quarks, doch uit antiquarks zijn opgebouwd. Het gevolg is dat het antiproton in veel opzichten een exacte kopie, in andere opzichten het spiegelbeeld is van het proton. Enerzijds zijn de massa's van proton en antiproton precies gelijk, anderzijds heeft het proton een positieve, het antiproton een negatieve elektrische lading.

Het gevolg van deze gelijkheid in eigenschappen is, dat protonen en antiprotonen – en meer algemeen, elk deeltje met zijn antideeltje – elkaar kunnen vernietigen (*annihileren*). Bij deze annihilatie wordt de massa omgezet in energie, waar andere deeltjes, zoals fotonen en mesonen, uit ontstaan.

Omdat ze annihilieren met gewone materie, is het moeilijk antiprotonen te ontdekken, laat staan te bewaren. De aarde en haar atmosfeer bestaan geheel uit materie: protonen, neutronen en elektronen. Mocht er al eens een antiproton gevormd worden of als kosmische stra-

ling de atmosfeer binnendringen, dan ontmoet deze binnen een fractie van een seconde een proton en annihileert. Het is dan ook geen wonder, dat het antiproton pas in 1955 ontdekt werd, 25 jaar na zijn voorspelling op theoretische gronden door Dirac.

Toch is het mogelijk om bundels antiprotonen te produceren en te versnellen. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij CERN, het Europese centrum voor deeltjesonderzoek bij Genève. De antiprotonenbundels worden voor experimenten bij hoge en bij lage energie gebruikt. In het eerste geval laat men bundels protonen en antiprotonen in tegengestelde richting circuleren in het *Super Proton Synchrotron (SPS)*. Op bepaalde punten ontmoeten de bundels elkaar; daar zijn verschillende experimenten opgesteld. Bij de botsing tussen een antiproton en een proton, dringen de twee deeltjes zo diep in elkaar door, dat – meestal – slechts één van de drie quarks van het proton en één van de drie antiquarks van het antiproton annihileren. Bij deze energie zijn de sterke kernkracht zwak genoeg, om voorspellingen gedaan met het quarkmodel te testen.

In experimenten bij lage energie brengt men de antiprotonen in de *Low Energy Antiproton*

Ring (LEAR). De antiprotonen hebben bij deze experimenten energieën die ruwweg een factor duizend lager liggen dan de energie in het SPS. Er zijn vele soorten experimenten mogelijk met dergelijke lage-energie-antiprotonen.

– Men kan de potentiaal modellen testen in situaties waarbij niet twee nucleonen, maar een nucleon en een antinucleon reageren. Welke verschillen treden er op? Bestaan er gebonden toestanden van een antiproton en een proton, net zoals er een gebonden toestand van een proton en een neutron bestaat, namelijk het deutron ${}^2\text{H}$.

– Het antiproton kan gebruikt worden om één GeV aan energie in een atoomkern te deponeren. Deze energie komt bij de annihilatie van het antiproton en één van de nucleonen vrij. De brokstukken van de exploderende kern worden onderzocht om zo iets meer te leren over hoe de atoomkern in elkaar zit.

– Men bestudeert ook het antiproton zelve. In hoeverre zijn antiprotonen echt exacte kopieën van protonen? Zijn bijvoorbeeld de massa's precies gelijk? Werkt de zwaartekracht op dezelfde manier op materie als op antimaterie?

Al met al is het antiproton geworden tot een doeltreffend hulpmiddel bij het onderzoek van de sterke kernkracht.

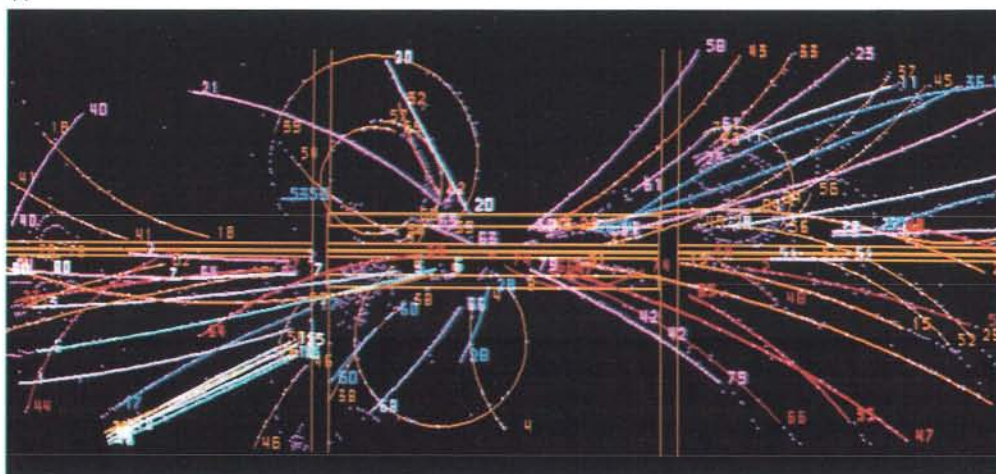
Eén superkracht?

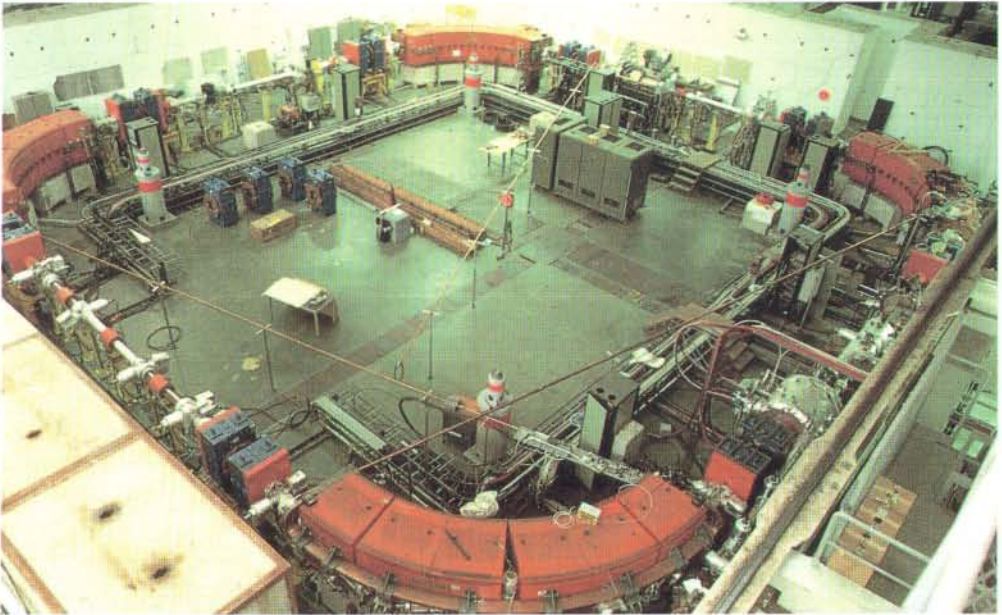
Drie van de vier natuurkrachten zijn wiskundig te formuleren met behulp van krachtvoe-

rende deeltjes. Alleen voor de zwaartekracht bestaat een theorie, die uitgaat van een andere grondslag: de fameuze Algemene Relativiteits Theorie. Men heeft talloze pogingen gedaan om alle vier de krachten in één model onder te brengen. Gedeeltelijk is dat gelukt. De zwakke kernkracht en de elektromagnetische kracht kunnen beschreven worden als twee gedaanten van een kracht: de *elektrozwakke* kracht. Dat lijkt vergezocht, omdat enerzijds de krachten enorm in sterkte verschillen, anderzijds de krachtvoerende deeltjes nogal in massa uiteenlopen.

De elektrozwakke theorie leert dat bij botsingen bij grote energie – zeg een paar duizend GeV – de (wiskundige) symmetrie tussen de twee krachten wel bestaat. Bij lage energie echter, op de energieschaal van atomen en atoomkernen, is deze symmetrie gebroken en neemt de elektrozwakke kracht de gedaante aan van twee – schijnbaar – totaal verschillende krachten. Men kan dit vergelijken met de drie toestanden van water; stoom, ijs en vloeibaar water zijn drie verschijningsvormen van de molekulen H_2O .

Pogingen om ook de sterke kernkracht en de zwaartekracht in het harnas van één superkracht te gorden, zijn nog niet geslaagd. Het probleem is een passende beschrijving te vinden, een wiskundig model, waarin alle elementaire deeltjes een logische plaats vinden. Bovendien moet het model een middel bevatten om de symmetrie te breken: bij lage energie





16

14. Voor het aantonen van deeltjes wordt een zeer groot aantal botsingsexperimenten geanalyseerd.

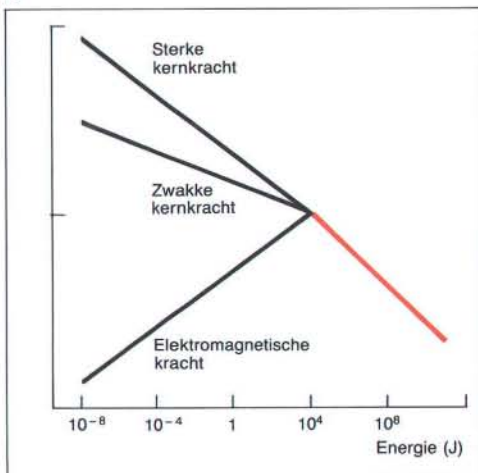
15. Bij voldoende hoge energie is het denkbaar dat de verschillen tussen de natuurkrachten verdwijnen. Dit is echter theorie, omdat de betreffende energieën per deeltje veel groter zijn dan we kunnen opwekken (10^{-7} J).

16. De Low Energy Antiproton Ring (LEAR) van CERN heeft een omtrek van 78 m. Op de rechte stukken tussen de magneten is ruimte voor experimenten.

moeten de deeltjes te groeperen zijn als quarks, leptonen en de verschillende krachtvoerende deeltjes.

Alle theorieën over de superkracht voorspellen het bestaan van andere, nog niet ontdekte deeltjes. Dat verklaart waarom er over de hele wereld plannen gemaakt worden voor de volgende generatie deeltjesversnellers.

15



Literatuur

Veltman M. De organisatie van elementaire deeltjes. *Natuur & Techniek* 1980; 48; pag. 774-789.
 Diddens AN. Deeltjesversnellers – Op zoek naar het allerkleinste. *Natuur & Techniek* 1981; 49; pag. 300-316.
 Sutton, Christine. *The Particle Connection*. London: Hutchinson, 1984.

Bronvermelding illustraties

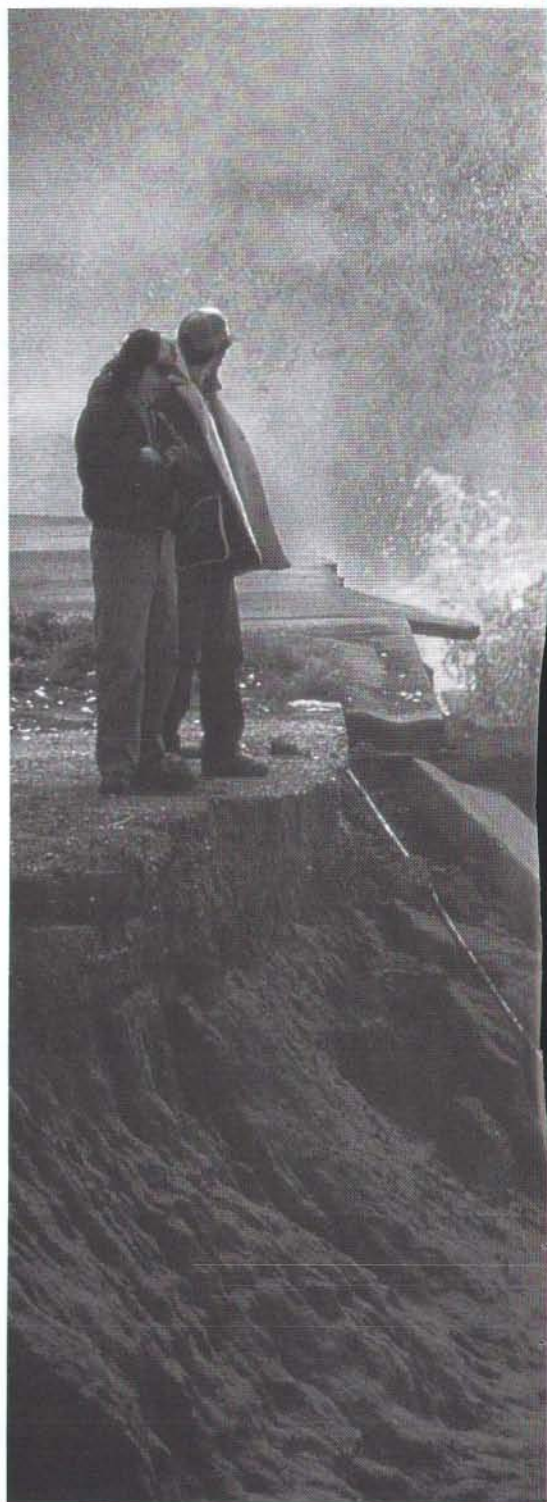
DESY, Hamburg: opening, 12.
 CERN. Genève: 1, 2, 3, 4, 7, 10, 11, 14, 16.

*CNR Laboratorium voor de bestudering
van de dynamica van grote massa's
Venetië*

Globaal gedetailleerd

Zeestromen zijn voor de scheepvaart van groot belang. De bestudering ervan vormde de aanzet tot de ontwikkeling van de oceanografie. Deze wetenschap houdt zich echter ook bezig met de fysisch-chemische en geobiologische eigenschappen van zeeën. Thans staat vooral de zee-watercirculatie en de wisselwerking daarvan met de atmosfeer, de kust en de zeebodem in de belangstelling. Dank zij het toenemend aantal teledetectiesatellieten, het gebruik van steeds verfijnder mathematische modellen en een nauwere internationale samenwerking zal men er steeds beter in slagen om veranderingen in de loop van zeestromen, de invloed van de mens daarop en de gevolgen voor het wereldklimaat, te voorspellen.

De interacties tussen de oceanen en de atmosfeer pakken soms dramatisch uit. Het verschijnsel El Niño bijvoorbeeld leidt niet zelden tot overstromingen in verschillende delen van de wereld, zoals hier in Californië.





EURO
ARTIKEL

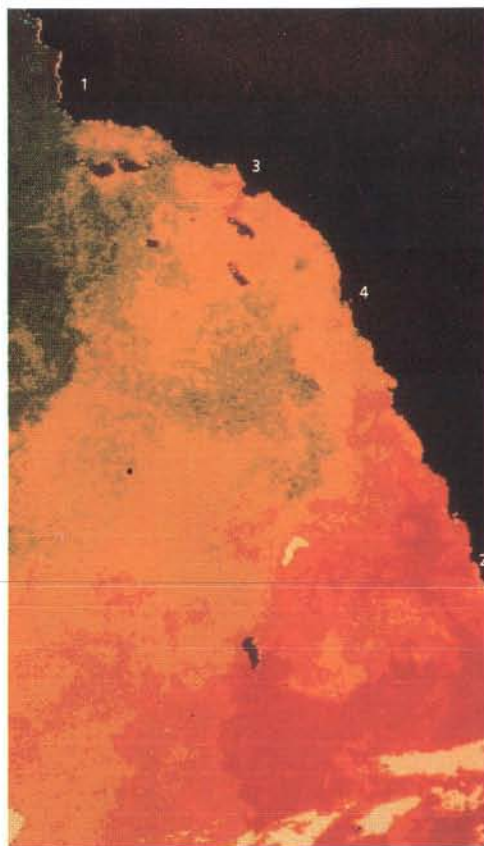
ZEESTROMEN EN KLIMAAT

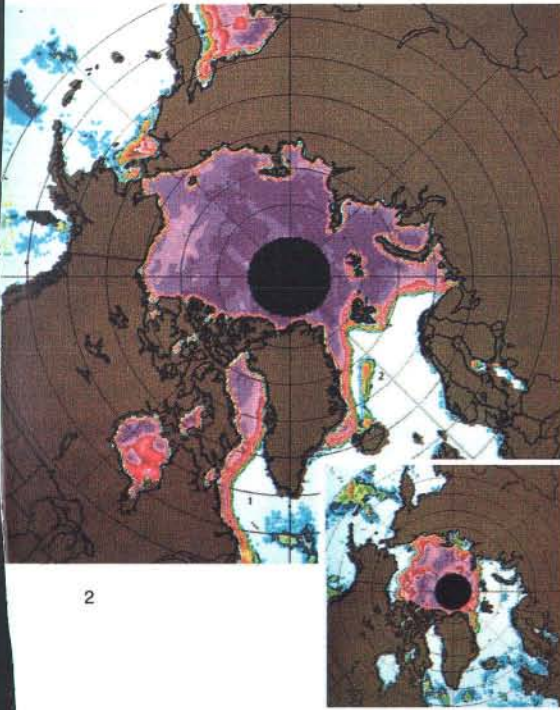
Het aardoppervlak, bedekt met land, water en ijs en omgeven door de atmosfeer, vormt een geofysische eenheid. Binnen deze eenheid is sprake van een voortdurende wisselwerking tussen de diverse componenten, waaruit zij is opgebouwd. Een deel van deze wisselwerkingen staat onder invloed van menselijk handelen. De effecten daarvan zijn in eerste instantie lokaal of regionaal merkbaar. Op die schaal zijn ze vaak ook uitgebreid bestudeerd. De effecten op wereldschaal zijn doorgaans veel minder duidelijk. Voor de bestudering daarvan wordt meer en meer gebruik gemaakt van satellieten en mathematische modellen als onderzoeksinstrument. Beide 'instrumenten' vormen thans de basis voor het wetenschappelijk onderzoek op dit gebied.

Met mathematische modellen worden geofysische verschijnselen en mechanismen numeriek gesimuleerd. Zodra de modellen zijn

1. El Niño aan de Californische kust. Links de normale situatie, januari 1982: koud water (blauw en groen) welt op als gevolg van de heersende oostenwinden. Rechts de toestand één jaar later. De temperatuur van het zeewater is 2°C hoger (rood en geel). Hierdoor verdwijnen onder andere blauwbaars en tonijn voor de Californische kust.

2. Aan de polen krimpt het ijsdek in de zomer, om in de winter weer fors aan te groeien. Deze krimp en groei van het poolijs is klimatologisch van belang, omdat het ijs een barrière vormt voor de energieuitwisseling tussen zee en atmosfeer. Deze opnamen laten de omvang van het Noordpoolijs zien in september 1979 (inzet) en april 1980. Ze zijn gemaakt met behulp van microgolfsensoren aan boord van een Nimbus-satelliet.





2

geijkt, dat wil zeggen zodra ze waargenomen verschijnselen nauwkeurig beschrijven, kunnen ze worden gebruikt om in een gegeven situatie toekomstige gebeurtenissen te voorspellen. Het gebruik van satellieten maakt het mogelijk om regelmatig grote delen van het aardoppervlak gelijktijdig te observeren. De aldus verkregen opnamen van het land- of zeeoppervlak kunnen worden gebruikt voor statistische doeleinden en voor het verifiëren van de voorspellingen die op grond van de mathematische modellen zijn gemaakt. In de oceanografie wordt daarbij ten volle geprofiteerd van kennis uit andere disciplines, met name de geofysische vloeistofdynamica en de meteorologie.

De in deze wetenschap gehanteerde modellen zullen ons in aangepaste vorm veel kunnen leren over de wisselwerking tussen de oceanen en de atmosfeer. Dat er op dat gebied nog veel kennis te vergaren valt, moge blijken uit het voorbeeld van een onopgehelderd verschijnsel: *El Niño*

El Niño treedt om de vijf à zeven jaar op in de Stille Oceaan en heeft een enorme invloed op het klimaat in de wereld, een invloed die

meer dan een jaar merkbaar blijft. Normaal gesproken liggen hoge- en lagedrukgebieden ter hoogte van de evenaar globaal op dezelfde plaats. Als El Niño optreedt, dan verplaatsen ze zich over grote afstanden en verwisselen zelfs van plaats. Normaal gesproken stuwten equatoriale winden warm oceaanwater van oost naar west. Deze winden nemen tijdens El Niño af, waardoor de stroming omgekeerd wordt. Warm water uit de zeeën rond Australië en Indonesië bereikt dan de kust van Ecuador. Dat gebeurt rond kerstmis, vandaar ook de naam El Niño, wat Spaans is voor (kerst)kind. De golf splitst zich tenslotte in twee delen. Het eerste deel stroomt terug in westelijke richting; het andere verplaatst zich in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust.

In oostelijke kustwateren van de Pacific welt normaal gesproken koud, voedselrijk water uit de diepte op. De warme golven belemmeren deze opwelling en de temperatuur van het water stijgt sterk, zo'n acht tot tien graden, waardoor het ecosysteem ter plaatse volledig ontregeld wordt. Verschillende soorten mosselen, kreeften en bodemvissen sterven daardoor, of migreren naar andere gebieden. Peruaanse vissers kunnen dan bijvoorbeeld de vangst van ansjovis wel vergeten. Populaties van andere soorten, zoals de mossel *Argopecten purpuratus*, krijgen de kans om tot explosieve groei te komen.

De buitengewoon hoge temperatuur van het oppervlaktewater heeft ook gevolgen voor het weer. Er ontstaan abnormale atmosferische conversies. Door het opstijgen van warme lucht wordt gedeeltelijk vanuit het westen lucht aangetrokken uit de onderste luchtlagen, vlak boven het wateroppervlak. Hierdoor worden de normale oostelijke passaatwinden afgezwakt. De klimatologische effecten zijn over de hele wereld merkbaar. Men gaat ervan uit dat de grote droogte die in 1982 en 1983 grote delen van Afrika en Amerika trof, door een El Niño is veroorzaakt.

De wereld volgens GARP

El Niño is slechts één voorbeeld van een raadselachtige verandering in de atmosfeer met gevolgen voor de zee. Er zijn nog legio andere voorbeelden, de meeste zijn echter kleinschaliger en korter van duur. Met het oog daarop

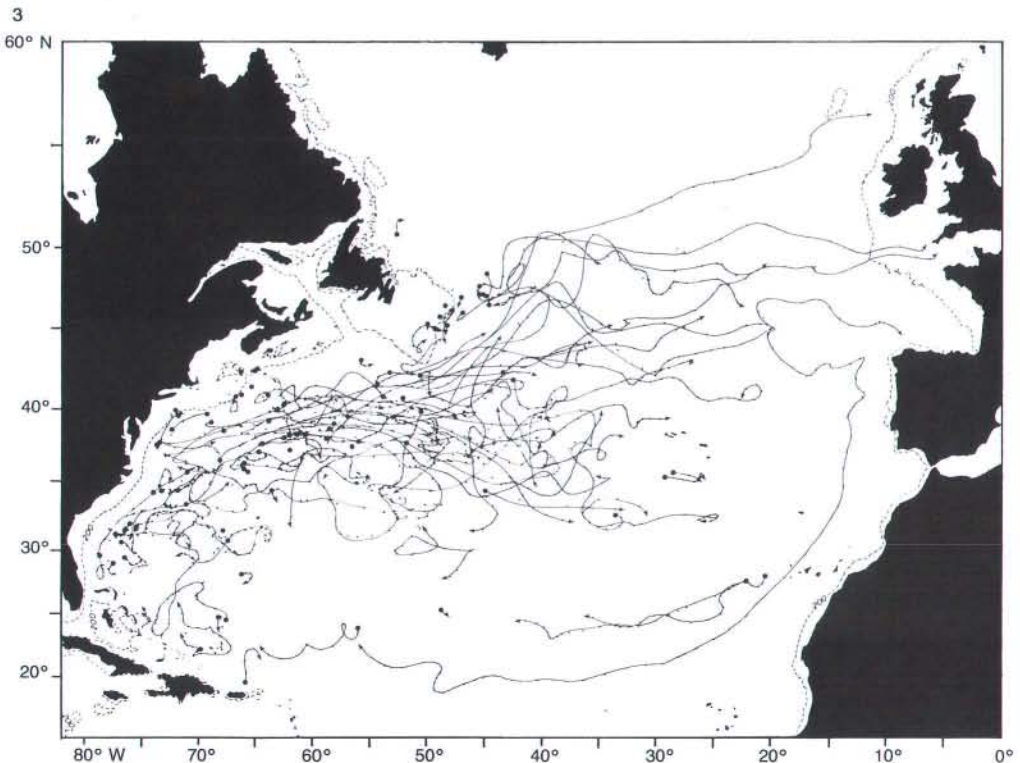
heeft een aantal internationale organisaties op het gebied van de meteorologie en oceanografie een gezamenlijk onderzoeksprogramma op stapel gezet, het Global Atmospheric Research Programme (GARP).

In de eerste fase van GARP lag de nadruk op voorspelling van het weer, waartoe vele jaren achtereenvolgende metingen werden verricht aan de equator en aan de polen. Ook was er veel aandacht voor de invloed van bergketens en andere bodemverheffingen op de beweging van luchtmassa's in de troposfeer. Deze gaven meer inzicht in het ontstaan en de ontwikkeling van bergwinden als de föhn en de bora en in cyclonale circulaties van het type dat in Venetië vaak hoge waterstanden veroorzaakt.

De tweede fase van GARP is meer gericht op de bestudering en voorspelling van het wereldklimaat. Naast allerlei natuurlijke factoren, zoals de verdamping en temperatuur van het zeewater en veranderingen aan de poolijskappen, wordt ook studie gemaakt van de effecten van menselijke activiteiten, zoals de uitstoot van CO_2 in de atmosfeer.

Er is een apart onderzoeksprogramma (WOCE) voor de bestudering van zeestromen. Men tracht daarmee te komen tot een beschrijving van de algemene mechanismen van watercirculatie, natuurlijke en door de mens veroorzaakte aspecten daarvan en de invloed van zeestromingen op klimaatveranderingen. Het gaat dus zonder uitzondering om zeer groot-schalige observaties en simulaties.

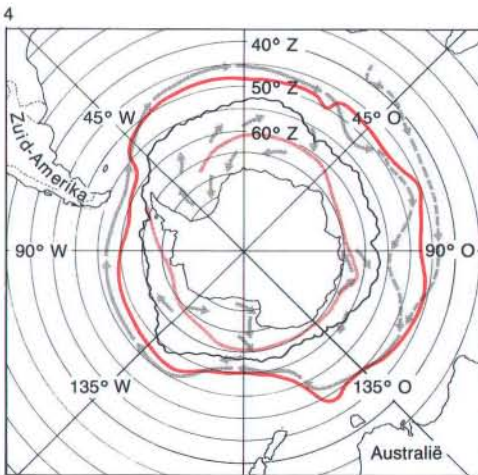
Als het programma voltooid is hoopt men inzicht te hebben in de ruimtelijke verdeling van alle factoren die zeestromingen in stand houden, de vorming van grote wervels en de invloed daarvan op de horizontale watermenging. Ook hoopt men dan de invloed van allerlei seizoensafhankelijke en meerjarige mengingsprocessen te kennen. Een project van deze omvang kan alleen uitgevoerd worden in internationaal verband en met inzet van een groot aantal geavanceerde meetinstrumenten. Zonder te suggereren dat andere meetinstrumenten niet interessant zijn, zullen we in de rest van dit artikel vooral ingaan op de tele-detectie (*remote sensing*) met satellieten.



Oceanografie vanuit de ruimte

Alle technieken waarmee oceanen vanuit de ruimte geobserveerd worden, hebben als gemeenschappelijke noemer dat rechtstreeks van de aarde afkomstige, dan wel gereflecteerde elektromagnetische straling wordt gemeten. Het kan daarbij gaan om zichtbaar licht, infrarode straling of microgolfstraling. Vooral in het microgolfgebied (radar) worden veel waarnemingen gedaan, omdat men hierbij het minst gestoord wordt door atmosferische omstandigheden. Men spreekt dan ook van *all weather* systemen.

Dat wil niet zeggen dat men helemaal afziet van metingen in andere golflengtegebieden. Combinaties van verschillende technieken zijn in sommige gevallen heel nuttig om de ruis die bij bepaalde metingen optreedt, weg te werken. Zo kunnen metingen van de temperatuur van zeewater van hun ruis worden ontdaan door ze aan te vullen met verzamelde gegevens over de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer ter plekke.



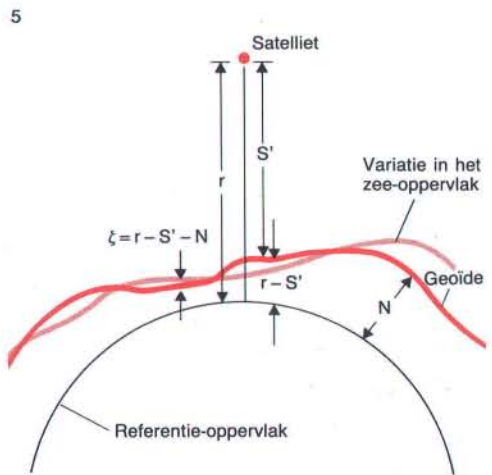
3. Stromingspatronen kunnen ook worden opgehelderd door drijvende boeien, waarvan de positie door een satelliet wordt bepaald. In het kader van het GARP-project zijn in 1975 zo'n 300 van dit soort boeien uitgezet. Hoewel in de gevolgde trajecten maar met moeite een patroon te ontdekken valt, kunnen ze door diverse berekeningen worden gerelateerd aan dynamische verschijnselen op het grensvlak tussen zee en atmosfeer.

4. Antarctica is volledig door zeeën omgeven. Tussen de 40° en 50° ZB kan het zeewater niet circuleren, omdat daar een onderzeese bergketen ligt, die diepe waterstromen zowel horizontaal als verticaal doet afbuigen. De lan-

In de loop der jaren zijn door diverse landen zo'n veertig satellieten voor aardobservatie in de ruimte gebracht. De NASA heeft in 1978 een serie satellieten voor zee-observatie gelanceerd, die tot de meest geavanceerde op dit gebied horen. De Nimbus-satellieten zijn voornamelijk uitgerust met sensoren voor gebruik bij zichtbaar licht; satellieten van het type Tiros-NOAA daarentegen met infraroodsensoren. Tenslotte is er nog de *Seasat*, die microgolfsensoren aan boord heeft. Hoewel deze satelliet het door problemen met de voeding al na drie maanden liet afweten, levert de verwerking van de ontvangen informatie ook nu nog verbazingwekkende resultaten op, zoals blijkt uit de metingen van de hoogte van het zeeniveau.

Met behulp van radargolven van 13 MHz kan de hoogte van het wateroppervlak continu op 5 à 10 cm nauwkeurig bepaald worden. Voor het zeeniveau gebruikt men de volgende formule:

$$\zeta = r - S' - N$$



ge pijlen geven de richting aan van de circumpolaire zeestroming, die aan het oppervlak door circumpolaire winden in stand gehouden wordt. De lichtgekleurde lijn geeft globaal de ligging van het Antarctisch poolfront aan, ook wel Antarctische convergentie genoemd. De donkere lijn tenslotte laat zien waar de grens van de Antarctische divergentie ligt, het gebied waar oppervlaktetstromen met de wijzers van de klok mee de kust volgen.

5. Schematische weergave van de verschillende hoogten en fluctuaties in het zeeniveau die vanuit een satelliet met behulp van radar kunnen worden vastgelegd.

waarin r de precieze hoogte van de satelliet boven een referentieoppervlak is, S' de afstand tussen de hoogtemeter en het golvende water en N de hoogte van de *geoïde* ten opzichte van het referentieoppervlak. De *geoïde* is de vorm die de aarde zou hebben als zij volledig met water bedekt zou zijn en de zwaartekracht overal gelijk is. Er zijn echter plaatsen waar de zwaartekracht iets hoger of lager is. Zo hebben hoogtemetingen door Seasat aangetoond dat het oppervlak van de Middellandse Zee tussen Griekenland en Afrika een meer dan 30 meter diepe inzinking vertoont als gevolg van een plaatselijk verhoogde zwaartekracht.

Ook de structuur van de zeebodem kan niveauverschillen veroorzaken. Een voorbeeld is de niveaustijging van enkele meters boven de Midatlantische Rug (afb. 6).

De hoogtemeter verschaft niet alleen informatie over de hoogte van het zeeniveau, men kan er ook golfhoogten en windsnelheden mee afleiden. De mogelijkheden hiertoe zijn voornamelijk beperkt; dergelijke metingen kunnen alleen gedaan worden in stroken van 30 km breed. Er wordt echter gewerkt aan apparatuur waarmee men in stroken van 700 tot 1500 km breedte de 'ruwheid' van het zeeoppervlak kan bepalen. Men zal dan op elk willekeurig punt op de oceaan de windsnelheid tot op $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en de windrichting tot op 10° nauwkeurig kunnen aangeven.

Een heel bijzonder radarsysteem is de SAR, de Synthetic Aperture Radar, waarmee op-

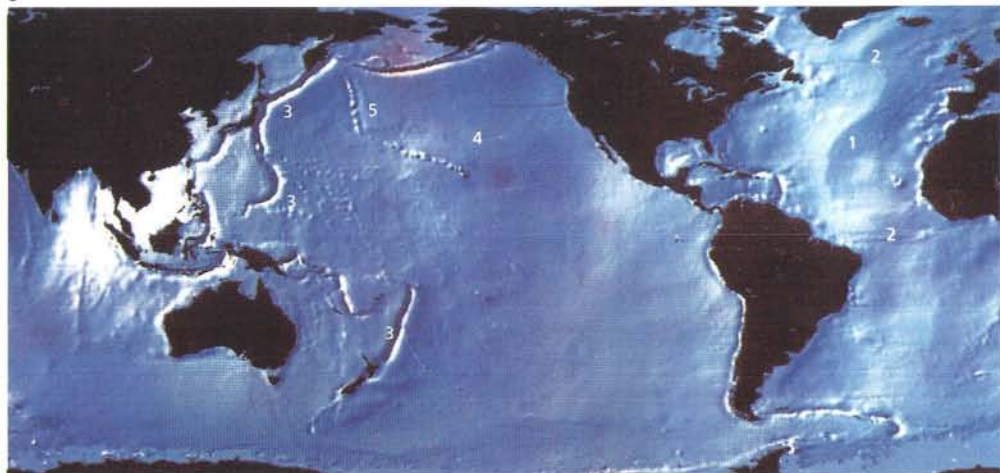
namen van het zeeoppervlak gemaakt kunnen worden van gebieden van 100×100 km, bij een oplossend vermogen van 25 tot 50 m. Dit instrument wordt alleen op speciaal verzoek voor detailstudies gebruikt, omdat het gezien de informatie-opbrengst van $10 \text{ Megabit}\cdot\text{s}^{-1}$, zeer veel tijd, geld en moeite kost om alle gegevens te verwerken. Men hoopt echter dat dit apparaat een rol zal kunnen spelen bij de bestudering van betrekkelijk regionale verschijnselen.

Regionale schaal

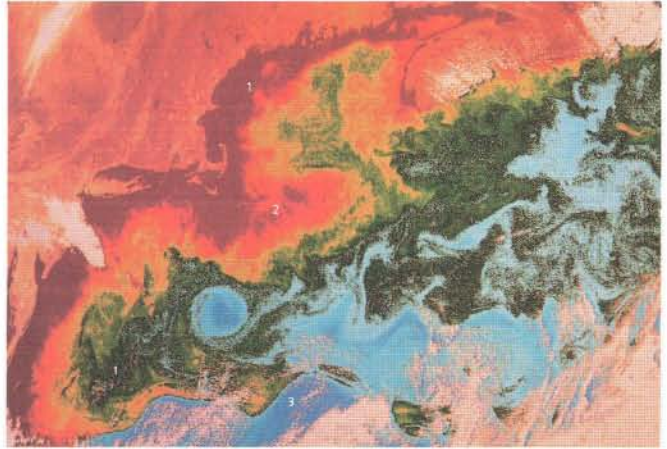
Gelijktijdig met de grootschalige onderzoeksprojecten die zich over de hele aardbol uitstrekken, worden op diverse plaatsen in de wereld ook regionale verschijnselen bestudeerd. Het Middellandse-Zeeonderzoek is daar een voorbeeld van. Deze zee heeft slechts een nauwe toegang tot de Atlantische Oceaan en wordt gekenmerkt door een hoog zoutgehalte en sterke verdamping. Het binnenstromende oceaانwater heeft een lager zoutgehalte dan het uitstromende Middellandse-Zeewater, zodat er netto sprake is van aanvoer van water en afvoer van zout.

Om vele redenen is deze zee een geschikt model voor de bestudering van allerlei oceanische processen, omdat die er op betrekkelijk kleine schaal plaatsvinden en relatief gemakkelijk te observeren zijn. Men heeft daarbij met name belangstelling voor circulatieproces-

6



6. Een topografische weergave van het zeeoppervlak, gemaakt met behulp van een radarhoogtemeter aan boord van de Seasat-satelliet. Fluctuaties in het zeeniveau kunnen onder andere optreden onder invloed van de draaiing van de aarde, variaties in de zwaartekracht, luchtdrukverschillen, windstuwning en variaties in de geometrie van de zeebodem. Bewerkt door een computer leveren de meetresultaten dit beeld op, waarop het zeeoppervlak als het ware vanuit het westen belicht is weergegeven. Zo ziet men verhevenheden bij de Midatlantische rug (1) en de bijbehorende breukzone (2), de Westpaciatische troggen (3), de Hawaii-rug (4) en de Noordwestpaciatische rug (5).



7. Twee gelijktijdig gemaakte satellietopnamen van de Atlantische Oceaan met links de noordoostkust van de V.S. en boven Groenland. De bovenste opname toont de concentratie van fotosynthetiserende pigmenten als maat voor de verspreiding van fytoplankton. De kleurschaal loopt van rood (veel) via geel en groen naar blauw (weinig). Onder zien we de temperatuur van het zee-water, waarbij dezelfde kleurschaal van warm naar koud loopt. Beide opnamen laten duidelijk de complexe stromingspatronen zien die optreden op de plaats waar Golfstroom en Labradorstroom elkaar treffen en de effecten daarvan op het voorkomen van fytoplankton, de organismen die aan het begin van de voedselketen staan. Let op de wervel die in de onderste figuur met een 5 is aangegeven. Deze is op beide opnamen duidelijk herkenbaar en valt op door de sterke gradiënten in zowel fytoplanktonconcentratie als temperatuur.



7

sen en de effecten van verontreiniging. Men vergelijkt daarbij dezelfde processen in het oostelijk en het westelijk bekken. In het oostelijk bekken heeft het water een grotere dichtheid en wordt het aan meer zonnestraling blootgesteld. In het westelijk bekken is daarentegen de invloed van de wind op de circulatie weer groter.

Daarnaast laat de Middellandse Zee zich gemakkelijk bestuderen vanwege de betrekkelijk geringe bewolking, de relatief grote helderheid van het water en het vrijwel ontbreken van getijden. Bepalingen van het chlorofylgehalte in de Middellandse Zee door een optische sensor van Nimbus-7, analoog aan die van afbeelding 7, laten zien dat deze zee biologisch zeer productief is.

Literatuur

- Loor GP de. Remote sensing – Verkennen met onzichtbaar licht. *Natuur & Techniek* 1985; 53, 9: 672-683.
 Smith DG (red.). *Cambridge encyclopedie van de aardwetenschappen*. Maastricht-Brussel: Natuur & Techniek, 1983.

Bronvermelding illustraties

- James Sugar/Transworld Features Holland, Haarlem: pag. 680-681.
 Alle overige illustraties zijn van de auteur.

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

De B.V. MIT

Simon Rozendaal

Eén van de beroemdste octrooien uit de recente geschiedenis is dat van de universiteiten van Stanford en Caltec, beide in Amerika. Het is van de professoren Owen en Boyer en betreft de recombinant-DNA techniek. Iedereen die deze erfelijkheidstechnieken toepast en daar geld mee verdient, moet een som aan de beide Amerikaanse universiteiten betalen. Dit jaar verwacht de Stanford-universiteit iets meer dan 1,7 miljoen dollar eigendomsrecht op deze uitvinding. Omdat de komende jaren steeds meer producten op de markt zullen verschijnen die op deze techniek zijn gebaseerd, zal het bedrag dat de Stanford-universiteit jaarlijks ontvangt alleen maar toenemen. De

Slechts 1,7 procent van alle afgestudeerden in Nederland gaat bij kleine bedrijfjes werken

prognose is dat gedurende de zeventien jaar dat het octrooi geldig is Stanford 200 miljoen dollar, ofwel – afhankelijk van de koersschommelingen in die 17 jaar – zo'n half miljard gulden of negen miljard frank vangt.

Als John Preston dit vertelt pauzeert hij even om de omvang van het bedrag door te laten dringen. "Aardig bedrag, hè? Maar weet u wat nog leuker is? Dat Stanford dit immense bedrag bijna nog gemist had. Bij Stanford hadden ze eerst helemaal niet in de gaten wat het commerciële potentieel van de DNA-techniek was. Pas een week voordat de officiële termijn verstreek kwamen ze er achter en hebben toen als een haas een octrooiaanvraag ingediend." John Preston is directeur van het bureau dat zich op de MIT-universiteit in Massachusetts bezig houdt met octrooien licenties en industriële contacten en weet dus waarover hij praat. Het Massachusetts Institute of Technology is met Stanford van alle Amerikaanse universiteiten het meest op de industrie gericht en probeert bewust geld te verdienen met universitair onderzoek.

In Nederland (in België heeft men meer ervaring met universitaire octrooien) gebeurt het vrijwel nooit dat een universitaire onderzoeker die iets heeft ontdekt of uitgevonden een octrooi aanvraagt, laat staan dat een Nederlandse universiteit van de inkomsten uit octrooien en licenties een vast element van het financiële beleid zou maken.

Bij MIT en Stanford is dat wel zo. Preston vertelt hoe een prestigieuze Amerikaanse universiteit aan zijn geld komt. MIT heeft bijvoorbeeld een jaarlijks research-budget van een half miljard dollar en is de grootste research-universiteit van de VS. Inkomsten komen in de eerste plaats uit de rente op het eigen kapitaal. Dit is natuur-

**Het hoofdgebouw van MIT heeft wel iets weg van een tempel.
(Foto: MIT).**

lijk sowieso al ondenkbaar in Nederland en België. Amerikaanse universiteiten zijn rijk, flink rijk in sommige gevallen: MIT heeft meer dan één miljard dollar uitstaan, de Harvard universiteit anderhalf en Stanford twee miljard dollar. Alleen al uit rente (of dividenden) levert dit jaarlijks meer dan 100 miljoen dollar inkomsten op.

Een student aan MIT moet bovendien jaarlijks 16 000 dollar betalen. Preston: "Voor een Europeaan lijkt dat een gigantisch bedrag maar daar staat tegenover dat

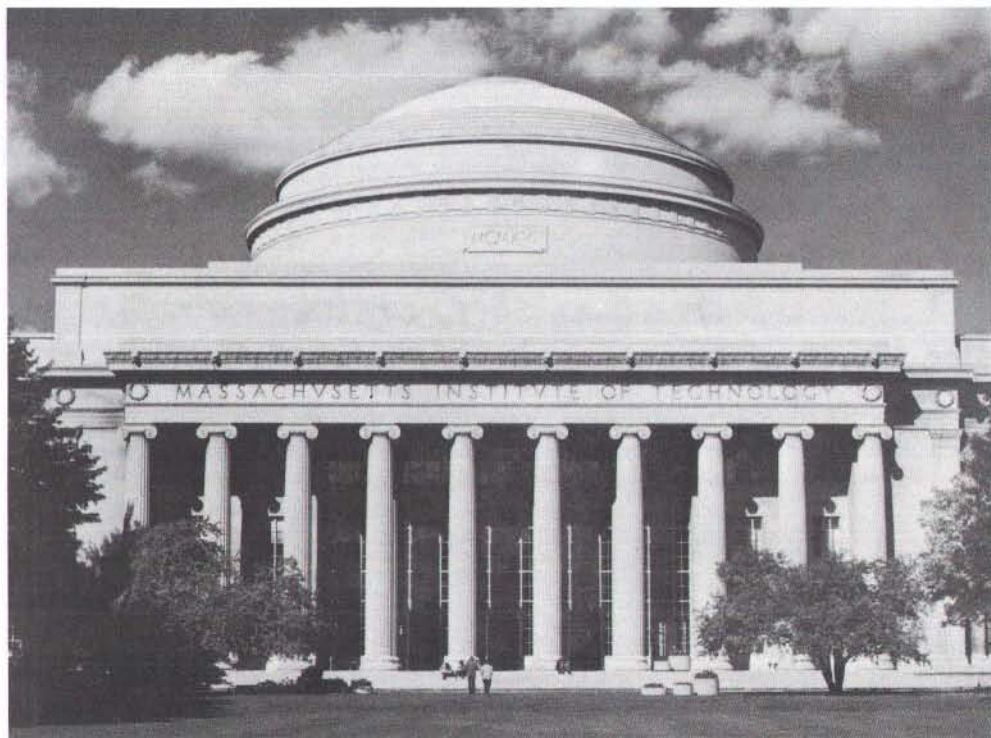
bijvoorbeeld iedere student in artificial intelligence al heel snel een computer van 40 000 dollar voor zichzelf heeft.” De studenten brengen jaarlijks dus ook enkele tientallen miljoenen dollars binnen. Daarnaast zijn er de giften van afgestudeerden die multimiljonair zijn geworden en behoefte hebben aan belasting-aftrekposten. Stanford ontvangt zo jaarlijks 100 miljoen dollar, MIT 50 miljoen. Uit industriële contacten tenslotte ontvangt MIT jaarlijks zo’n 12 à 13 miljoen dollar. Indrukwekkend voor Nederlandse (en Europese) begrippen, waar een universiteit niet meer dan maximaal enkele tienduizenden guldens via contractresearch kan binnenhalen, maar binnen de totale begroting van een Amerikaanse universiteit betrekkelijk gering.

Preston vertelt dat er iedere dag twee mensen van de MIT-universiteit op zijn bureau komen met een uitvinding. Drie per week worden daarvan uitgekozen voor een octrooiaanvraag waarvan er uiteindelijk twee worden toegekend. Het grootste succes op octrooigebied word bij MIT gedeeld door de uitvinding van de synthese van penicilline en van het magnetische computergeheugen. Beide octrooien hebben deze in Cambridge (nabij Boston) gelegen universiteit 25 miljoen dollar opgeleverd. Het magnetisch computergeheugen is in 1949 ontworpen door Jay Forrester (die later de basis legde voor het computermodel van de Club van Rome over de aantasting van het leefmilieu) en is lange tijd (tot het chiptijdperk) in vrijwel alle computers ter wereld toegepast.

De MIT-synthese van penicilline kwam in 1957 op een moment dat veel onderzoekers de moed eigenlijk al hadden opgegeven. Vooral gedurende de tweede wereldoorlog hebben veel onderzoekers op instigatie van de Amerikaanse regering (het penicilline-project was toen, na het Manhattan-project om een atoombom te maken, het grootste wetenschappelijke project) geprobeerd om penicilline kunstmatig te produceren om zo het tijdrovende kweken van penicilliumschimmels te vermijden. In 1957 slaagde John Sheehan, hoogleraar op MIT, er eindelijk in.

De spin-offs

Niet alleen aan de hoeveelheid octrooien valt de sterkere industriële gerichtheid van universiteiten als MIT en Stan-



ford af te lezen. Zeker even opmerkelijk is het aantal bedrijfjes dat door mensen van die universiteiten wordt opgericht. John Preston vertelt dat er elk jaar twintig bedrijfjes als zogenoemde spin-offs van MIT ontstaan. In totaal zijn het er ruim duizend nu met als bekendste bedrijf Digital, na IBM het grootste computerbedrijf ter wereld.

Als dit met de Nederlandse (en Nederland zit wat dit betreft op één lijn met andere Europese landen) situatie vergeleken wordt, dan is het verschil opmerkelijk. De meest industrievriendelijke universiteit in Nederland is onmiskenbaar de TU Twente. De John Preston daar is ing D. van Barneveld van het Transfer-

Je denkt al snel: ik ben toch zeker even slim als hij

punt. Hij vertelt dat er rond de Twentse universiteit in totaal 120 high-techbedrijfjes zijn ontstaan.

Een onderzoek dat onlangs naar spin-offs vanuit de Katholieke Universiteit Nijmegen is uitgevoerd wees uit dat er tussen 1980 en 1985 38 bedrijfjes zijn ontstaan. Ook uit het verhaal over het Belgische biotechnologiebedrijf, elders in deze rubriek, blijkt dat er dus wel iets in beweging is op de universiteiten aan deze kant van de oceaan.

Een belangrijk verschil is niet alleen dat er in Amerika veel meer bedrijfjes rond de universiteit ontstaan, die bedrijven worden bovendien veel groter dan hier. De 38 bedrijfjes rond de Nijmeegse universiteit hebben 137 arbeidsplaatsen geschapen, de 120 bedrijfjes rond de Twentse universiteit zo'n 500 banen. Dat is bij elkaar misschien net

voldoende om de portiersloges van Amerikaanse universitaire afsplitsingen als de computergiganten Digital en Wang te bemannen.

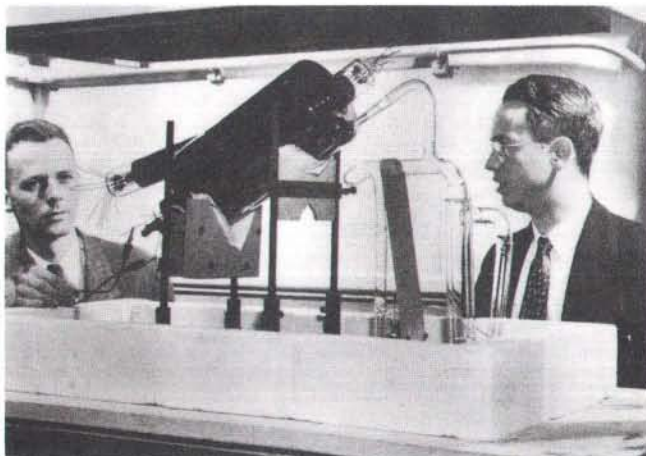
Preston ziet een paar oorzaken voor de verschillen tussen de VS en Europa. "In de eerste plaats is het nog steeds zo dat in Europa studenten als ze naar het bedrijfsleven gaan liever voor een groot bedrijf werken. In Nederland ging een jaar of twee geleden bijvoorbeeld maar 1,7 procent van alle afgestudeerden bij kleine bedrijfjes werken. Vijfenzeventig procent van de afgestudeerden van de Harvard Business School gaat daarentegen voor kleine bedrijven werken."

Een tweede oorzaak is dat Europa de ervaring mist met venture-capital, waagkapitaal zou de Nederlandse term hiervoor kunnen zijn. Weliswaar is er de afgelopen jaren, vooral ook in Nederland, heel veel venture-capital beschikbaar gekomen maar dat zegt volgens Preston niet dat er dan ook meer goede high-techbedrijfjes vanuit de universiteit kunnen worden opgericht. "Er is onlangs een onderzoek geweest naar de tien best aangeschreven staande biotech-

nologie-bedrijfjes. Negen van de tien bedrijven bleken opgericht te zijn door venture-capital bedrijven die al tien tot vijftien jaar ervaring hadden met het oprichten van wetenschappelijk-technologisch geïntereerde bedrijven. Dat mist Europa ten ene male."

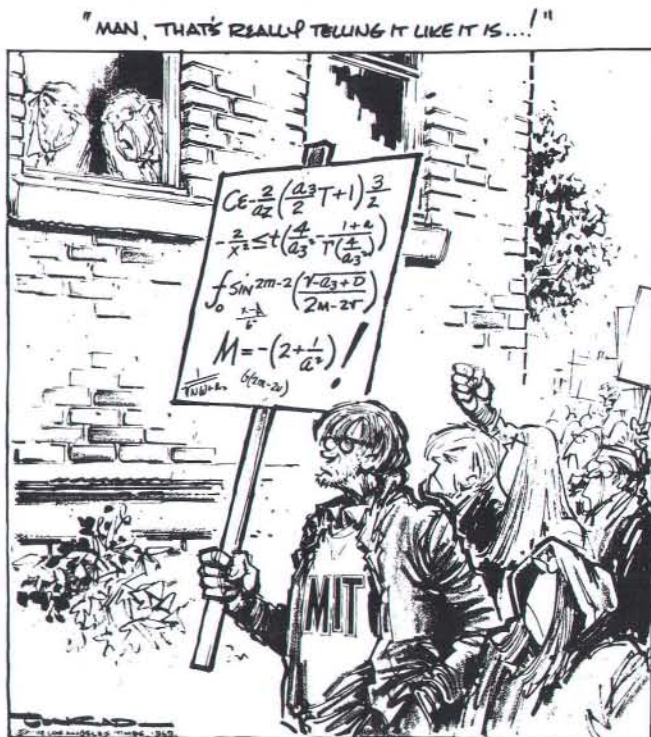
Een ander verschil is volgens Preston dat er in Europa een stigma op mislukkingen ligt. "Ik ben zelf voor ik bij MIT ging werken betrokken geweest bij de oprichting van negen high-techbedrijven. Drie daarvan zijn succesvol, vier zijn dood en twee levend dood. In Europa zou ik de acht andere kansen niet hebben gehad want na een eerste mislukking zegt de bank: jij krijgt geen geld meer."

Er zijn natuurlijk ook overeenkomsten aan beide zijden van de oceaan tussen de studenten en wetenschappelijke medewerkers die een bedrijfje oprichten. Bijvoorbeeld de gemiddelde leeftijd. Preston: "Die is in de meeste landen ongeveer 34 jaar." Er is bovendien sprake van een oververtegenwoordiging van immigranten (het computerbedrijf van de Chinese Amerikaan An Wang is het bekendste voorbeeld). Preston

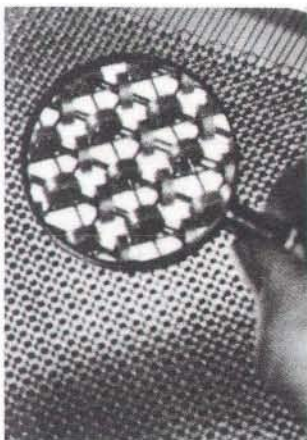


(zelf een eerste generatie Amerikaan, zijn moeder was Belgisch): "Oprichters van high-techbedrijfjes die vanuit de universiteit zijn gestart zijn vaak immigranten of eerste generatie Amerikanen." Ook zijn de vaders van veel van deze pioniers, in Europa zowel als de VS, zelfstandigen, mensen die niet in loondienst werken.

Eén van de belangrijkste verschillen evenwel is volgens Preston wat hij noemt de *peer pressure*: iedereen kent in zijn omgeving wel een student of een hoogleraar die een succesvol bedrijfje heeft opgericht en wordt door deze voorbeeldwerking aangemoedigd om het zelf ook eens te proberen. Preston: "Je denkt al snel: ik ben toch zeker even slim als hij?". Hij vertelt dat een Chinees-Amerikaanse hoogleraar aan de MIT-universiteit hem pas toefluisterde



Een van de beroemdste MIT-patenten is het magnetisch computergeheugen, ontwikkeld door Forrester (links op de linkerfoto). (Foto: MIT).



dat hij zich begint te schamen nog geen geslaagde zakenman te zijn. Drie van zijn studenten zijn inmiddels multimiljoenair: één heeft het softwarebedrijf Visicorp opgericht, een ander het softwarebedrijf Visiplot, een derde een video-bedrijfje. Bovendien had de Chinese jongen waarmee hij indertijd op één kamer zat, Charles Ying, het bedrijf Atex opgericht dat hij zeven jaar later aan Kodak verkocht waardoor hij plotsklaps 30 miljoen dollar rijker werd. Preston: "Dat soort voorbeelden missen jullie in Europa". Preston ziet maar één mogelijkheid om die ervaring op te doen: wanneer de Amerikaanse venture-capitalbedrijven met al hun ervaring besluiten om in Europese universiteiten ideeën te investeren. Studenten en wetenschappelijk medewerkers die

daar wel oren naar hebben. Preston heeft een rijtje van de meest belovende gebieden van de naaste toekomst. In de eerst plaats is dat biotechnologie. Preston: "Dat blijft nog wel een tijd het groeigebied bij uitstek." Een tweede interessant gebied is dat van de nieuwe materialen: keramiek, supergeleiden, nieuwe elektronische materialen. In de computersector is volgens hem het onderwerp kunstmatige intelligentie (ai, artificial intelligence) uit: "Vier jaar geleden hadden we daar nog hoge verwachtingen van maar er is wetenschappelijk toch weinig uitgekomen." Interessanter is volgens hem nu de constructie van computers met parallele structuren: verschillende onderdelen zoals (micro)processoren die onafhankelijk van elkaar kunnen werken. ■

Een molekulaair-biologisch monument

Joost van Kasteren

Walter Gilbert is van huis uit fysicus, maar bekeerde zich in 1960 tot de moleculaire biologie. Momenteel is hij een van de meest vooraanstaande molekulaair-biologen in de wereld en Nobelprijswinnaar. Samen met Weismann richtte hij in 1977 de Amerikaans-Zwitser-

riaal, DNA, te bepalen. Gilbert vindt dat nu de tijd rijp is om het totale menselijke DNA te 'sequencen'.

Ver voor onze jaartelling werd de Grote Piramide van Gezeh gebouwd als eerbewijs aan de Egyptische farao Cheops. De Taj Mahal in In-



Walter Gilbert (Foto: Hans van der Meer/Hollandse Hoogte).

se firma Biogen op. Twee jaar geleden heeft hij zich daaruit teruggetrokken.

Met zijn medewerker Alan Maxam ontwikkelde Gilbert eind jaren zeventig een snelle manier om de basenvolgorde van stukken erfelijk mate-

riaal, gebouwd in de vijftiende eeuw, is een mausoleum ter nagedachtenis aan de vrouw van de Indiase heerser Sja Jahan. Naast deze wereldwonderen zijn er eeuwenlang monumenten opgericht voor mensen.

In onze tijd wordt niet meer zo gesmeten met wereldwonderen ter nagedachtenis aan belangrijke personen. Toch blijft de behoefte aan monumenten bestaan. Een monument is bijvoorbeeld de landing op de maan in 1969, na een intensief programma van tien jaar en vele miljarden dollars. Met wat goede wil zouden we ook de dam in de Oosterschelde kunnen zien als een monument voor het milieu.

Vorig jaar zomer begon de discussie over een monument van en voor de moleculaire biologie, het in kaart brengen van het menselijk genoom. Uit de manier waarop Gilbert erover praat ('heilige graal der biologen'), blijkt dat een volledig gesequenced menselijk genoom van dezelfde orde is als de landing op de maan of de Taj Mahal.

Het voorstel om het menselijk genoom in kaart te brengen ondervond meteen al veel kritiek, niet in de laatste plaats van collega's van Gilbert.

Gilbert: "De kritieken beginnen nu te verstommen. De discussie over het voorstel komt wereldwijd op gang en de stemming is naar mijn mening tamelijk positief. In Japan wordt erover gepraat en ik verwacht dat men daar binnen een jaar tot een positieve opstelling besluit. Hetzelfde geldt voor de VS. In Europa is de discussie eigenlijk nog nauwelijks van de grond gekomen."

Wat vindt u van de kritiek dat het project veel te grootschalig en te duur is om uit te voeren?

Gilbert: "Of het mogelijk is, is geen vraag. Het kan, zelfs met bestaande technieken. Ik denk dat dank zij de ontwikkelingen op het gebied van het sequencen van DNA, zoals

Gilbert was halverwege dit jaar in Nederland voor een bijeenkomst over moleculaire evolutie. Hij is de naamgever van de merkwaardige stukken niet-coderend DNA (introns), die wel-functionele stukken DNA (exons) scheiden. Over de evolutionaire functie van de introns wordt druk gespeculeerd. Gilbert meent dat introns een mogelijkheid zijn om de basevolgorde van het DNA te veranderen, waardoor erfelijke veranderingen optreden.

Door 'exon shuffling' hoef je niet tientallen generaties te wachten voor er een nieuwe code voor een eiwit is gecreëerd door punt-mutaties. Binnen één generatie kan er al voldoende zijn verschoven voor een nieuwe code. Een merkwaardig fenomeen is dat de introns meestal op precies dezelfde plaatsen zitten, of je nu maïs neemt, kippen of schimmels (bij bacteriën komen ze niet voor). Dat wijst erop dat ze al heel

vroeg in de evolutie voorkwamen. Sommigen veronderstellen zelfs dat ze nog voor de scheiding tussen bacteriën en eukaryoten bestonden, maar dat bacteriën ze, omwille van een snelle voortplanting, in de loop van de evolutie zijn kwijtgeraakt. Gilbert: "Zelf vermoed ik dat exons, de functionele stukken DNA, gescheiden door introns, coderen voor stukken eiwit die een functionele eenheid vormen, zoals immuno-globulinen."

automatische sequencers, die tegen het eind van dit jaar op de markt zullen verschijnen, de veronderstelde kosten van het project sterk zullen dalen. Als ik een schatting moet maken dan denk ik aan 300 miljoen dollar in tien jaar, één-tiende van de oorspronkelijke schatting van drie miljard dollar."

Het laboratorium van Gilbert (hij is hoogleraar aan de universiteit van Harvard) heeft de laatste jaren intensief gewerkt aan automatisering van de volgorde-bepaling van DNA. Inmiddels heeft Applied Biosystems een machine daarvoor op de markt gebracht. Voor het eind van het jaar zal ook Dupont met een dergelijke machine op de markt komen.

Denkt u niet dat de kosten voor een dergelijk project in mindering gebracht worden op ander molekulair-biologisch onderzoek?

Gilbert: "Het is een technisch probleem, de wetenschappe-

lijke kennis is beschikbaar, net als in het geval van het Apolloproject. Je moet alleen de middelen hebben om het in een relatief korte periode van een jaar of tien uit te voeren. Het is dus iets anders dan het doen van wetenschappelijk onderzoek."

"Als het project wordt uitgevoerd dan biedt het volledige menselijke genoom een schat aan informatie voor het wetenschappelijk onderzoek. Het zal een belangrijk hulpmiddel kunnen zijn bijvoorbeeld bij het onderzoek naar erfelijke ziekten. Er is dus geen belangenconflict tussen dit project en ander wetenschappelijk onderzoek. Het onderzoek profiteert er alleen maar van omdat er een geweldige versnelling mogelijk wordt als er een catalogus van het menselijke erfelijke materiaal beschikbaar is."

Human Genome Institute

Maar geld dat je aan het ene uitgeeft, kun je toch niet aan het andere uitgeven?

Gilbert: "Wat ik me voorstel is dat het project wordt opgezet als een commerciële onderneming, een Human Genome Institute, dat met driehonderd medewerkers in tien jaar tijd het menselijk genoom in kaart brengt. Momenteel zijn we bezig om 'venture capital' ondernemingen te interesseren voor het project. Ik denk dat we tegen het einde van het jaar voldoende toezeggingen zullen hebben om van start te gaan."

'Commercieel' houdt in dat er inkomsten zijn?

Gilbert: "Waar het om gaat is dat je met het menselijk genoom een soort databank schept, waar onderzoekers tegen betaling informatie kunnen kopen. Ik denk dat dat commercieel mogelijk is en voor iedereen voordeel oplevert. Als je voldoende klanten hebt, wereldwijd, dan blijven de kosten voor de onderzoeker die informatie aanvraagt ook laag."

Gilbert voelt er weinig voor om het project te laten uitvoeren door de regering of door wetenschappelijke organisatie als de National Institutes of Health. "Die organisaties zijn er niet op gericht om een dergelijk project uit te voeren; zij zijn gericht op het financieren van voornamelijk fundamenteel wetenschappelijk onderzoek en dit is een toepassingsproject. Als de regering het gaat doen dan denk ik dat het te lang duurt voor het van de grond is en als het eenmaal zover is, de inspanningen te veel versnipperd zullen zijn."

Er zijn zowel in de EG (EMBO) als in de VS (GenBank) databanken waar onderzoekers de door hen gevonden volgorden in kunnen leveren.

Gilbert: "Zowel de databank van EMBO als de GenBank in de VS liggen maanden, zo niet jaren, achter bij hun catalogiseerarbeid. Bovendien zit er weinig systematiek in de volgorden die worden aangeboden en met het tempo, waarmee het gebeurt, duurt het tientallen jaren voor we ook maar iets in kaart hebben."

Hoewel hij meent dat een overheid niet de meest geschikte instantie is voor het uitvoeren van dit project vindt Gilbert dat diezelfde overheid een belangrijke rol kan en moet vervullen: "Een belangrijk neveneffect van dit project is dat het onderzoek naar allerlei zaken als erfelijke ziekten, kanker en dergelijke enorm wordt versneld. Dat is niet in geld uit te drukken, maar komt wel ten goede aan de samenleving. Ik vind eigenlijk dat de overheid een project als dit in de beginfase mee zou moeten financieren, om die reden. Het feitelijk sequencen zou door een particuliere onderneming gedaan moeten worden."

Onzin-DNA

Naast financiële aspecten zijn er echter nog een aantal fundamentele problemen, die opgelost moeten worden. Eén daarvan is dat je niet weet waarvoor de basevolgorde codeert of zelfs maar of die ergens voor codeert. Gilbert: "Het is weinig zinvol om in het wilde weg menselijk DNA te gaan sequencen. Eerst moeten we enige tijd, ik denk twee tot drie jaar, besteden aan het in kaart brengen van de chromosomen. Op die manier komen we er achter waar welke genen liggen. Van die genen kun je dan de basenvolgorde in kaart brengen. Je zou kunnen afspreken om met één chromosoom te beginnen. Het bepalen van de basenvolgorde kun je vervolgens doen in stukjes van 50 000 basen."

Ik vind eigenlijk dat de overheid een project als dit zou moeten financieren

Een tweede probleem is dat lang niet alle DNA functioneel is. Genen bestaan uit een patroon van introns, die niet in boodschapper-RNA worden vertaald, en exons, die wel in boodschapper-RNA en eiwit worden vertaald. Verder zitten er tussen genen grote stukken 'onzin'-DNA. De vraag is dan ook waarom je het hele genoom in kaart zou willen brengen. Is het niet voldoende om de vijf procent 'functioneel' DNA in kaart te brengen?

Gilbert is het daar niet mee eens: "Het is gemakkelijker om hele stukken DNA te sequencen. Bovendien weet je niet wat wel en wat geen func-

tioneel DNA is. Dat is juist een van de meest interessante vragen in de biologie van vandaag. Tenslotte kun je niet vaststellen waar de functionele volgorden precies liggen. Al met al is het veel gemakkelijker om het hele genoom te sequencen en dan later via onderzoek te bepalen welke delen functioneel zijn en welke niet."

Wordt het toch niet een kwestie van een monument voor één persoon. Om niet al te veel tegenstrijdigheden te krijgen zul je toch uit moeten gaan van het erfelijk materiaal van een individu. Anders ga je voorbij aan erfelijke verschillen tussen personen.

Gilbert vermoedt inderdaad dat men het erfelijk materiaal van één individu zal nemen, vermoedelijk via een placenta, omdat dit orgaan veel erfelijk materiaal bevat in zijn cellen. Omdat de mens chromosomen in paren heeft en omdat de onderzoeker niet weet welke streng hij onderzoekt, krijg je wat de volgorde betreft toch een soort heen en weer springen tussen de volgorden op de ene en de volgorde op de andere streng. Gilbert: "Je krijgt als het ware een geïdealiseerde voorstelling van het erfelijk materiaal van mensen. Een referentie om andere DNA-volgorden aan af te meten."

Met dank aan prof Knippenberg van de RU Leiden, die een deel van de voor hem bestemde tijd om met Gilbert te overleggen, afstond voor dit interview.

John Zuidgeest

België tegen de malariamug

De G. Plateastraat in Gent is in tegenstelling tot het mooie stadscentrum dodelijk saai. Op no. 22 is Plant Genetics Systems gevestigd, een biotechnologisch bedrijf. Dit pand blijkt een oud universiteitsgebouw te zijn. Gangen waarin studenten heen en weer lopen, de geur van verschaalde sigarettenrook, niets wijst erop dat hier een geavanceerd biotechnologisch bedrijf gevestigd is. Behalve dan een bordje aan de muur waarop deze naam vermeld staat met een pijl die de juiste richting aangeeft. De bezoeker die de toegangsdeur tot Plant Genetics Systems, kortweg PGS, opent, komt meteen in een heel andere we-

reld, een moderne en efficiënt ingerichte ruimte.

Het verschijnsel science parks is inmiddels bekend. Maar een bedrijf dat zich werkelijk in het hart van de universiteit vestigt, mag toch een noviteit heten. "De universiteit had wat ruimte over en die konden wij huren", zegt product manager Mark Vaeck eenvoudig. Bij enig doorvragen blijkt er, uiteraard, wel een wat duidelijker relatie te bestaan tussen universiteit en Plant Genetics. De hoogleeraar in de genetica van de Universiteit van Gent, Professor Marc van Montagu, is tevens wetenschappelijk directeur van het biotechnologisch bedrijf. Verder is er, evenals

in de science parks, een zekere wisselwerking. Onderzoekskrachten worden bijvoorbeeld geworven van de universiteit, bepaalde onderzoekresultaten komen ter beschikking van het bedrijf, terwijl het bedrijf zijn uiterst moderne faciliteiten ter beschikking stelt als dat zo uitkomt. Maar er zijn natuurlijk grenzen. Zodra er commerciële belangen in het geding zijn, gaat het slot erop.

Het bedrijf is in 1983 opgericht en heeft in zijn korte bestaan al een paar successen behaald. Zoals de geslaagde poging om een gen van *Bacillus thuringiensis* in te bouwen in de tabaksplant. De tabaksplant ging een stof produceren die giftig is voor *Manduca sexta*, een insect waarvan de larve die zich voedt ten koste van de tabaksplant. Veldproeven in Mississippi en Florida wezen uit dat deze genetische verandering van de tabaksplant succesvol was. De larven raakten binnen 24 uur ver-

Een stekende malariamug.





**Mark Vaeck van
Plant Genetics
Systems.**

lamd en stierven na drie dagen een roemloze dood. De planten stonden er prima bij, zonder dat nog een aanvullend chemisch bestrijdingsmiddel nodig was.

De mug wint

Het bedrijf, met 51 werknemers, is eigendom van enkele aandeelhouders, waaronder de Investeringsmaatschappij voor Vlaanderen, een regeringsinstelling. Het specialiseert zich in het genetisch bewerken van planten, vooral commerciële gewassen, met het doel de produktiviteit evenals de bestendigheid tegen ziekten, infecties en vraat door insecten te verhogen. Daarnaast zijn er nog enkele andere activiteiten, zoals bijvoorbeeld de enzymtechnologie.

Het is uiteraard een commercieel bedrijf, dat geld hoopt te verdienen met de vindingen die gedaan worden. Dat neemt niet weg dat er vond-

sten zijn waar een groot deel van de mensheid van profiteert, zoals de meest recente, een middel om de malariamug effectief te bestrijden.

Malaria is een ziekte waaraan naar schatting 150 miljoen mensen per jaar lijden. Jaarlijks sterven twee miljoen mensen eraan, vooral kinderen. De ziekte komt vooral voor in de tropische gebieden. Het tragische is, dat zowel de malariamug, die de ziekte overbrengt, als de parasiet die via de mug de ziekte veroorzaakt, aan de winnende hand zijn tegen het leger bestrijders. Waar mens en dier vergiftigingsverschijnselen zouden krijgen van de agressieve chemische middelen (zoals DDT) die gebruikt worden, vliegt de mug onverstoorbaar verder, op weg naar een slachtoffer dat voedsel verschaft op onvrijwillige basis, en als dank dan ook nog eens wat parasieten in zijn bloed krijgt.

Kortom, de mug is resistent

geworden tegen de gangbare bestrijdingsmiddelen. Nog erger is dat in delen van Afrika en Azië de parasiet zelf resistent geworden is tegen enkele veel gebruikte geneesmiddelen, zoals chlorokine. Er zijn een stuk of vier, vijf goede geneesmiddelen, en de parasieten zijn nooit resistent tegen allemaal tegelijk, zodat er altijd nog wel een middel te vinden is dat werkt. Maar dan moet wel tevoren bekend zijn tegen welk middel de parasiet resistent is.

Een oud en waar gezegde luidt: voorkomen is beter dan genezen. Er wordt dan ook druk gewerkt aan vaccins die kunnen voorkomen dat de parasieten na binnengedrongen te zijn hun kwalijke werk kunnen doen. Een andere preventie is ervoor zorgen dat die parasiet niet binnen kan komen, en één van de manieren is zijn transportmiddel, de mug dus, onklaar maken. Plant Genetics Systems heeft nu een methode ontwikkeld die er veelbelovend uitziet. De bron is, net als bij de tabakspiant, de bacterie *Bacillus thuringiensis*. Om helemaal

Europeanen zijn realistischer ten aanzien van de milieu- aspecten van biotechnologie

precies te zijn: *Bacillus thuringiensis israeliensis*. Deze bacterie maakt een stofje waar de larven van muggen (emelten) en vliegen niet tegen kunnen. Aardig is dat Kees Waalwijk op het ITAL in Wageningen ook met deze bacterie bezig is, met het doel van de plaag van de emelten af te komen, die graslanden aardig kunnen

vernietigen. Hij wil een gen van de bacterie via een tussenstap inbouwen in bacteriën die op de wortels van grasplanten voorkomen. PGS gaat nog een stap verder, of doet het directer zou je kunnen zeggen: het gen dat het giftige eiwit maakt, wordt ingebouwd in ééncellige blauwgroene algen, die voorkomen in de wateren waar de malariamug haar eitjes legt.

Het is niet zo verwonderlijk dat *Bacillus thuringiensis* zo populair is bij biotechnologen. Het is al jarenlang een biologisch bestrijdingsmiddel, verkrijgbaar in de handel, met als groot voordeel dat het soortspecifiek is, alleen maar giftig dus voor het insect dat men wil bestrijden. Het ITAL in Wageningen werkt aan overplanting van een eigenschap van die *B. thuringiensis* omdat deze bacterie onder de grond niet kan leven. De onderzoekers in Gent doen het omdat besproeiing met een kolonie bacteriën niet het gewenste effect heeft op

de broedplaatsen van de malariamug. Het gif is weinig stabiel en is na een paar weken al verdwenen. "Maar al zou het wel blijven, dan had het nog weinig zin, want de bacteriën zakken naar de bodem", zegt Mark Vaeck van PGS, "en daar hebben de muggelarven geen last van ze, omdat ze zich voeden aan de oppervlakte van het water." Van dit eetgedrag maakt PGS nu gebruik via een blauwgroene alg, een ééncellig organisme dat kolonies vormt aan het wateroppervlak. Als de larve eet doet hij dat door water naar binnen te zuigen en de vaste kleine partikels eruit te filteren en op te eten. Die blauwgroene alg is klein genoeg om tot voedsel te kunnen dienen. Het is dus een kwestie van het uitzetten van een partij giftig gemaakte algen die dan vanzelf wel verder groeien, zodat er altijd een bestrijdingsmiddel voor de larve van de mug aanwezig is. Dat is tenminste de gedachte achter de vinding. Voorlopig

is PGS erin geslaagd de bewuste eigenschap van *Bacillus thuringiensis* te isoleren en in te bouwen in de blauwgroene alg.

Welke methode gebruikt is om dat gen in die alg te krijgen wil Mark Vaeck, product manager, niet zeggen, maar wel wil hij kwijt hoe de resultaten bij de laboratoriumproeven waren: "Het toxine dat wij ingebouwd hebben, werkt op de middendarmcellen van die larven en veroorzaakt eigenlijk een soort indigestie, waardoor ze niet meer in staat zijn te eten en van honger sterven. We hebben inmiddels een aantal laboratoriumproeven gedaan, waarbij we getransformeerde algen hebben toegevoegd aan water waarin die muggelarven leefden en we hebben gezien dat ze dan binnen twee dagen sterven."

In het laboratorium werkt het dus. Maar zal die alg het uithouden in de wateren waar hij wordt uitgezet en zich con-

Malariabestrijding oude stijl. (Foto: WHO).





stant vermeerderen of is er telkens een nieuwe lading nodig?

“We willen veldproeven gaan doen, liefst in tropische gebieden waar die algen rechtstreeks gebruikt kunnen worden. Dat kan alleen na overleg met een aantal instanties, zeker met het lokale bestuur. We hebben contact gelegd met de Wereldgezondheidsorganisatie WHO, die zeer geïnteresseerd is om een netwerk op te bouwen in de betrokken landen. We kunnen dan constateren hoe effectief de bestrijding van de larven is op deze manier. We kunnen ook bestuderen hoe stabiel deze getransformeerde alg in het veld is. We kunnen alleszins voorspellen dat die algen heel wat stabielere zullen zijn dan

Bacillus thuringiensis in het water, omdat die algen zich daarin vermenigvuldigen. Het enige risico dat we zien is dat er competitie kan ontstaan met andere organismen die de algen uiteindelijk weer verdringen, zodat we weer een nieuwe lading moeten uitzetten.”

Het lijkt een veelbelovende bestrijdingsmethode. Milieuvriendelijk, want alleen maar schadelijk voor de larve van de malariamug, geen bespuitingen dus met agressieve chemische middelen die praktisch alles uitroeien. En verder lijkt de methode effectief, omdat de muggelarve die voor hem giftige algen automatisch opeet, omdat hij alles opslurpt wat aan het wateroppervlak drijft, mits het klein genoeg is. De larve is geen se-

lectieve eter. Blijft er natuurlijk nog een vraag: de mug is resistent geworden tegen de gangbare bestrijdingsmiddelen, is niet het risico aanwezig dat die larve op den duur ook resistent wordt tegen het *thuringiensis*-gif?

“Het risico van resistentie bestaat altijd, en ik denk dat we dit voor ogen moeten houden. We denken daar dan ook continu aan. In al onze programma's op het gebied van biologische bestrijdingsmethoden die werken met giften houden we altijd voor ogen dat zo iets kan gebeuren. We werken dus parallel aan alternatieve strategieën, dus we zijn nu al aan het denken welke andere molekulen we eventueel kunnen inzetten tegen de muggelarve. We hopen dan iets anders bij de hand

hebben tegen de tijd dat dit bacteriële gif niet meer werkt.”

De Wereldgezondheidsorganisatie is enthousiast over deze vondst. De vraag is natuurlijk wat het effect van deze methode zal zijn, zal het inderdaad lukken om langs deze weg de plaag die malaria heet onder controle te krijgen.

Mark Vaeck: “Het is extreem te stellen dat een bepaalde methode de definitieve oplossing zal betekenen. Ik denk dat men altijd een gematigd standpunt moet innemen. We denken dat het een zeer hoopgevende methode is en dat er inderdaad goede mogelijkheden in zitten.”

Een bevolkingsonderzoek naar malaria-infecties.

Verdelgingsmiddelen

Een ander interessant produkt vormen de tegen herbiciden resistente gewassen die PGS ontwikkeld heeft. Het gaat om tabaksplanten, tomateplanten en aardappelplanten. Er is een prima breedspectrum onkruidverdelgingsmiddel dat Basta heet. Een middel met een zeer toepasselijke naam, want alles wat maar groen is gaat eraan, inclusief de gewassen die de teler graag in goede gezondheid op zijn veld zag staan. Het kan dus alleen gebruikt worden als het gewas nog niet ingezaaid is. Helaas heeft onkruid de gewoonte om ook vrolijk het levenslicht te aanschouwen als de aardappelen en tomaten wel op het veld staan. De enige ma-

nier om ze dan zonder schade voor het gewas weg te krijgen is gewoon schoffelen, of chemische middelen die schadelijk zijn voor andere levende organismen dan planten. Het voordeel van Basta is dat het exclusief tegen planten werkt, dus niet tegen allerlei nuttige organismen of tegen mens of dier. ‘Zoekt en gij zult vinden’, dacht men bij PGS, en de speurtocht werd beloond. Er werd een bacterie gevonden, voor de liefhebber: het beestje heet *Streptomyces gyroviriscus*, die een enzym maakt dat het herbicide Basta inactieveert. Het gen dat voor dit enzym codeert is nu ingebouwd in tabaks-, aardappel- en tomateplanten. De bedoeling is dat PGS deze planten zelf kweekt en uiteindelijk het zaad in de handel brengt. Mark Vaeck: “Dit is een van de projecten die past in de globale strategie van onze gewasbescherming, waarbij we een aantal eigenschappen gaan aanbrengen in planten die hen geschikter maken voor landbouw en die dus zouden toelaten om op een meer economische en een meer milieuvriendelijke manier landbouw te bedrijven.”

De milieubeweging

Op het moment dat dit artikel geschreven werd konden ieder moment proeven in het veld met deze gewassen beginnen. In de omgeving van Gent met tomaten en aardappelen en in Frankrijk met dezelfde gewassen plus tabak. Het gaat maar om kleine stukjes van enkele aren, in totaal enkele duizenden planten. De bedoeling is gewoon om te zien hoe in de praktijk werkt wat in het laboratorium zo goed ging. Nu zijn er indertijd in Californië problemen geweest bij proeven in het veld met aard-

bei- en aardappelplanten, waarvan de huisbacterie zodanig veranderd was (er was een gen weggehaald) dat de planten beter vorstbestendig werden. Toen men de veldproef wilde starten, haalden leden van een milieubeweging de plantjes uit de grond, uit protest tegen deze ingreep. Hoe zit dat nou in België en Frankrijk met de PGS-proef. De autoriteiten hebben toestemming gegeven, maar hoe reageert de milieubeweging? Mark Vaeck: “Er is hier niets aan de hand. Ik denk dat in Europa de situatie gans anders is dan in Amerika. Ik denk dat wij Europeanen iets realistischer zijn en minder emotioneel dan de Amerikanen hebben.”

Het is allemaal erg leuk om dit soort dingen uit te denken, maar er moet natuurlijk een keer iets verdiend worden. Hoe lang duurt het voordat PGS deze nieuwe variëteiten op de markt kan brengen?

“Het op de markt brengen van het produkt vraagt eerst een aantal jaren van veldproeven om te zien of de nieuwe variëteit stabiel is. Het vraagt ook een zekere tijd om een voldoende hoeveelheid zaad te produceren, of in het geval van aardappelen de knollen. Alles bij elkaar kan men rekenen dat die periode toch een vijftal jaar zal duren.”

Heelal minder oud?

Voor het eerst zijn er metingen gedaan aan een langlevende radioactieve isotoop buiten ons zonnestelsel. Prof Harvey Butcher van de Groningse universiteit leidde uit die waarnemingen af dat het heelal aanmerkelijk jonger is dan de laatste jaren werd aangenomen. Butcher komt uit op ongeveer 10 miljard jaar. Op grond van de Big-Bangtheorie was de leeftijd van het heelal op 16 tot 18 miljard jaar vastgesteld. De laatste decennia was het heelal overigens snel ouder geworden. Nog niet zo lang geleden zou de datering door Butcher weinig opzien hebben gebaard door zijn uitkomst, wel echter door de gebruikte methode.

Thorium-232 is een isotoop met een halfwaardetijd van 14 miljard jaar, wat betekent dat na die tijd de helft van een hoeveelheid vervallen is, in dit geval door uitzending van een alfadeeltje. Het verval begint op het moment dat het element gevormd wordt. Men neemt aan dat dit bij de geboorte het heelal was en dat de vervaltijd niet varieert met tijd en plaats. Dateringen uit gegevens van het radioactief verval van elementen zijn welbekend in de archeologie en de geologie. Sterrenkundigen hebben al dateringen gedaan aan meteorieten die op aarde terecht kwamen.

Butcher heeft nu voor het eerst het verdwijnen van een spectraallijn van ^{232}Th bij 401,913 nm in sterren van verschillende leeftijden kunnen analyseren. In dit geval werd er geijkt op een nabijgelegen spectraallijn van neodymium die ongeveer van dezelfde geringe intensiteit is.

De metingen aan de uiterst zwakke spectraallijnen waren mogelijk door speciale bewerking van de gegevens van de Coudé Echelle Spectrometer van de ESO die is gekoppeld aan de Coudé Auxiliary Telescope op La Silla, de Europese sterrenwacht in Chili. Volgens Butcher is het aan de superieure kwaliteit van de ESO-spectrometer te danken dat hij de metingen kon doen. Hij verwacht niet dat de metingen verbeterd kunnen worden vóórdat de nieuwe Very Large Telescope (VLT) van de ESO over ongeveer tien jaar in gebruik is.

(Nature, persbericht ESO)

Ecologie van de dood

Menigeen denkt bij zijn/haar leven wel eens na of hij/zij na de geest gegeven te hebben, begraven dan wel gecremeerd wil worden. Dat is meer dan een praktische vraag. Sommige mensen hebben ethische of godsdienstige bezwaren tegen crematie; anderen kiezen er juist voor onder een motto dat, oneerbiedig geformuleerd, luidt: 'afgelopen, uit, weg'. Men kan echter ook milieu-overwegingen laten gelden, zoals blijkt uit een artikel van Chris Westra in het blad MilieuDefensie. Westra wijst er bijvoorbeeld op dat kerkhoven vaak ware natuurgebieden zijn. Het is er stil, doorgaans gevarieerd begroeid en een mekka voor vogels. Op oude grafstenen groeien soms elders zeldzame mossen en korstmossen. Op één begraafplaats midden in de stad Utrecht kom je nog eekhoortjes tegen.

Wat er zich onder de grond afspeelt heeft de laatste jaren steeds minder met de natuur te maken. Vroeger, toen nog in houten kisten begraven werd, zorgden biologische afbraakprocessen voor een langzame vertering van lijk en kist. Als na een jaar of vijftien het graf geruimd werd, waren er alleen nog maar een paar botten over. Voorwaarde voor een vlotte vertering is de aanwezigheid van zuurstof. Op begraafplaatsen zorgt men dan ook altijd voor een zuurstofrijke bodem. De laatste jaren stuit men bij het ruimen van graven echter meer en meer op niet of slecht vergane lijken. Oorzaak is het toenemend gebruik van kunststoffen in doodskisten. Daardoor wordt het lijk vaak zo goed geïsoleerd dat er geen zuurstof bij kan en dus vrijwel geen afbraak optreedt.

De kunststoffen in doodskisten verdwijnen rigoreus bij crematie, maar dan wel door de pijp van het crematorium. De stank waar omwonenden van wat oudere crematoria over klagen, komt vooral daar vandaan. Vooral als een kist vlam vat en als de grotendeels verbrande kist in elkaar zakt, treedt in de oven een zuurstoftekort op, waardoor de verbranding onvolledig is. Juist de resten van die onvolledige verbranding vervuilen het milieu.

De as die overblijft is een mengsel van allerlei minerale stoffen. Sommige komen van nature in het lichaam voor, zoals kalk, fosfor, kalium, natrium en magnesium; andere zijn er in de loop van de jaren in opgehoopt, voorbeelden zijn zink, koper, lood, arseen, cadmium en kwik. Wordt de as verstrooid, dan komen deze stoffen in het milieu terecht. Zo heeft TNO op zogenaamde

strooiweiden overbemesting van fosfor gesignaleerd.

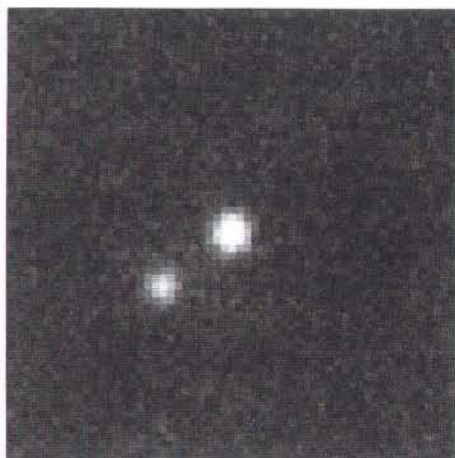
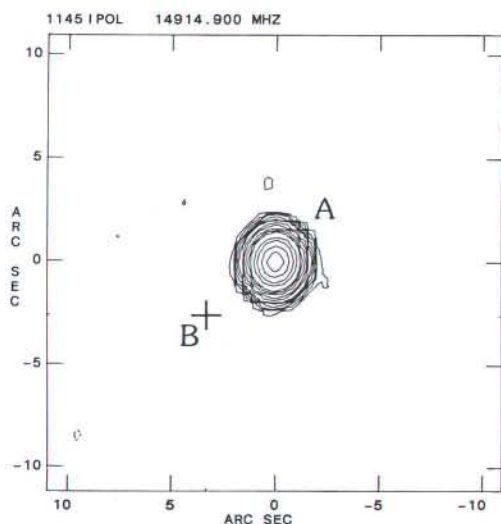
Westra laat zich het liefst begraven, in een goede houten kist neem ik aan. Al was het alleen maar vanwege het feit dat begraafplaatsen bij planologische beslissingen doorgaans ontzien worden. Zo ontstaat de mogelijkheid om door een geschikte keuze van begraafplaats bijvoorbeeld een ongewenste snelweg tegen te houden. Milieu-activisten blijven actief, tot na het uiterste.

Huip Dassen

Analyse van de spectra van de twee sterachtige componenten is begin 1987 uitgevoerd door het Multiple Mirror Telescope Observatory in Arizona. Daar volgde uit dat beide objecten inderdaad quasars waren, dat ze erg op elkaar lijken en op ongeveer dezelfde afstand van de aarde staan. Nadere analyse van de spectra bracht kleine verschillen aan het licht, die wijzen op verschillen in de fysische omstandigheden in beide stelsels. Dit waren al aanwijzingen dat hier de gravitatieleenshypothese niet van toepassing

Men neemt aan dat de quasars om elkaar heendraaien, net zoals de binaire sterren, waar al veel metingen aan gedaan zijn. Uit de onderlinge snelheidsverschillen van de twee systemen kan men dan schattingen over hun massa's maken. Men vond massa's die op zijn minst zo groot zijn als die van normale sterrenstelsels. Deze berekening ondersteunt de hypothese dat quasars de actieve kernen zijn van zeer ver verwijderde sterrenstelsels.

(Persbericht ESO)



Een binaire quasar

Met optische, spectrumanalytische en radiofrequente waarnemingstechnieken is een team van Amerikaanse en Europese astronomen waarschijnlijk de eerste echte binaire quasar op het spoor gekomen.

Al lang was bekend dat de radiobron PKS 1145-071 verenigd was met een quasar, maar een binair karakter was nooit waargenomen. Eind '86 volgde uit waarnemingen van de ESO 2,2 m telescoop op La Silla in Chili dat de bron een dubbel lichaam was.

was. Die hypothese poneert dat licht van een ver object door een zwaar hemellichaam in de lichtbaan naar de aarde zodanig door de zwaartekracht wordt afgebogen, dat op aarde twee beelden van hetzelfde object te zien zijn. Definitief uitsluitel bracht de meting van beide bronnen met de Bery Large Array radiotelescoop in Socorro, New Mexico. Slechts één van beide quasars, de optisch meest heldere, bleek een radiobron, de ander gaf geen radiosignaal. Het gaat hier dus om twee zeer nabijgelegen quasars, die hoogstwaarschijnlijk in interactie met elkaar zijn en wellicht botsen.

Een kaart van de radiosignalen (links) en een beeld van het zichtbare licht van de binaire quasar QQ1145-071 (als radiobron als PKS 1145-071 bekend). Het zichtbare licht beeld is afkomstig van de uiterst gevoelige charge-coupled-devicedetector van de ESO. De kaart van de radiosignalen toont aan dat alleen de helderste van de twee objecten een radiobron is. (foto: European Southern Observatory)

Echovrije kamer

Lockheed heeft een ultra-moderne echovrije kamer in gebruik genomen voor de beproeving van antennes voor ruimtevaartuigen. Omdat echo's van radiogolven de metingen zouden verstoren, zijn wanden, vloer en plafond van deze kamer volledig bedekt met materiaal van een speciale structuur en samenstelling. Op deze manier worden echo's effectief geabsorbeerd.

Het ontwerp van deze kamer maakt een compacte testopstelling mogelijk. In de open lucht zou men voor dergelijke proeven een terrein van ongeveer 8 km lengte nodig hebben. De middelgrote kamer (bijna 3500 m³, zie foto hieronder), waarvan er in de Verenigde Staten slechts drie

bestaan, is met name geschikt voor frequenties tussen 1 en 94 gigahertz.

De te beproeven antenne wordt op een voetstuk in het midden van de kamer geplaatst en gericht op een parabolische reflector aan het eind van de kamer. Vervolgens worden de uitgezonden signalen gemeten om vast te stellen of de antenne aan de ontwerp-eisen voldoet.

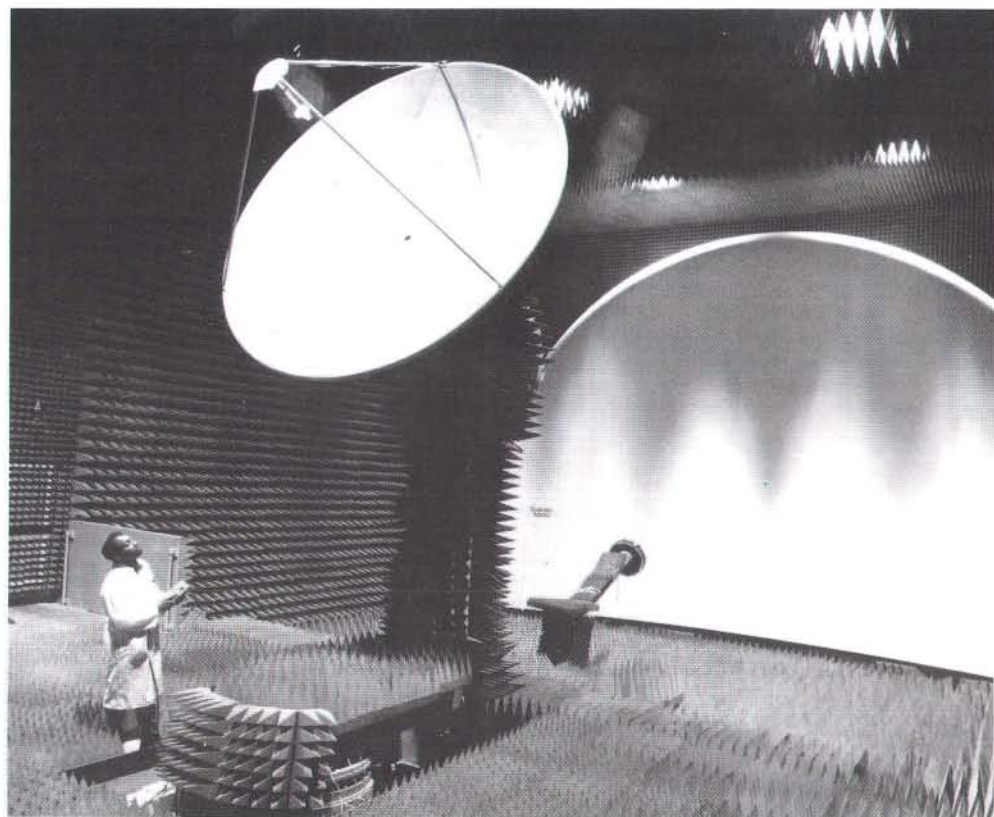
De echo-vrije kamer is ondergebracht in een nieuw, drie verdiepingen tellend gebouw op het terrein van Lockheed in Sunnyvale, Californië. In dit gebouw is men inmiddels ook een zeer grote anechoïsche kamer (ruim 20 000 m³) aan het inrichten.

(Persbericht Lockheed)

Sporten in vuile lucht

Ratten die zich lichamelijk inspannen na een verblijf in met 100 ppm NO₂ verontreinigde lucht hadden aanmerkelijk meer beschadigingen in hun luchtwegen dan ratten die het na blootstelling in dezelfde vervuilde lucht kalm aan mochten doen. Dat is de uitkomst van onderzoek door de luchtwegtoxicologen Bruce Lehnert en Douglas Stavert van het Los Alamos National Laboratory in de Amerikaanse staat New Mexico.

Wat betekent dit als we de resultaten overplaatsen naar mensen? Ten eerste natuurlijk de onzekerheid of wat waar is voor ratten ook voor mensen geldt. Daarna de constatering dat rokers zichzelf een concentratie van 200 ppm



NO₂ bezorgen en dat staalwerkers, lassers, brandweerlieden en mijnwerkers ook regelmatig aan hoge concentraties NO₂ zijn blootgesteld. Ze moeten dus bedacht zijn op longschade als ze zich gaan inspannen.

Op bepaalde dagen, als smog ontstaat is in veel steden, en in gebieden rond grote industriecomplexen de concentratie stikstofdioxide ook erg hoog. Wellicht doen trimmers en sporters er goed aan op die paar dagen de sportkleden maar in de kast te laten om de longcapaciteit in topconditie te houden.

(Discover)

Bemesting van rijst

De kleine boer in de tropen die zijn sawahs (natte rijstvelden) met de stikstofmeststof ureum gaat bemesten, doet dat nog steeds breedwerpig met de hand. Bij deze methode gaat veel stikstof door vervluchtiging verloren. Zouden de kunstmestkorrels ongeveer acht centimeter diep in de modder gebracht worden dan zou dat tot grote opbrengstverhoging leiden. De vakgroep Landbouwtechniek van de Landbouwwuniversiteit Wageningen ontwikkelde de afgelopen jaren een handzaam en betaalbaar apparaat waar dat mee zou kunnen: de ureuminjector. De vakgroep heeft daarbij steeds samengewerkt met het Nederlands Meststoffen Instituut en Homeco B.V. uit Dieren, die landbouwapparatuur aan ontwikkelingslanden levert.

Ureum wordt uit luchtstikstof gewonnen. Daar is veel energie voor nodig. Toen de energieprijzen stegen en dus ook ureum duurder werd, ontstond er behoefte aan betere benutting van deze kunstmest. Een onderzoeker van de Landbouwwuniversiteit, ir T. van der Sar, startte toen zijn onder-

zoek naar een doseerapparaat voor de kunstmest. Het moest een eenvoudig te bedienen en goedkoop handapparaat worden, waarmee de ureumkorrels in de sawahmodder geplaatst konden worden. Uit proeven was namelijk bekend dat er dan een verdubbeling van het rendement optrad.

Bij het breedwerpig strooien op de natte akker moeten twee à drie giften toegepast worden om een goede opbrengst te krijgen. Met een injector is één gift voldoende. De kleine boeren in de tropen strooien tot nu toe met de hand als het gewas al op het veld staat. De kunstmestgift zou ook tijdens het ploegen toegediend kunnen worden, maar de kleine boer krijgt veelal pas krediet voor de aanschaf van kunstmest als het gewas eenmaal op het veld staat. Dus bij het ploegen kan hij nog niet over kunstmest beschikken. Van der Sar heeft zeven jaar aan het prototype gewerkt. Toen hij eraan begon was door een internationaal rijstinstituut op de Filipijnen al een poging ondernomen een apparaat te ontwerpen. Dat apparaat bespaarde wel arbeidstijd, maar verhoogde niet de opbrengst omdat de kunstmestkorrels niet in de modder maar erop gedeponeerd werden. De ureuminjector die Van der Sar ontwierp levert in de eerste plaats rendementsverhoging op. Eerst werkte Van der Sar met een mechanisch systeem maar dat lukte niet. Nu is er een injector ontworpen die pneumatisch werkt, volgens het principe van de fietspomp.

De nauwkeurigheid van de dosering vormde steeds een probleem. Het prototype, waarvan in januari 1988 een grote serie in de tropen uitgetest gaat worden, bezit een schuifdoseersysteem. Met één injectie kunnen vier planten bemest worden. De korrels worden ongeveer acht centimeter diep in de modder gebracht, per keer drie à vijf gram, afhankelijk van de hoeveelheid mest die men geven wil. Onderzocht wordt nog of te-

gelijk met de kunstmest ook insecticiden toegediend kunnen worden.

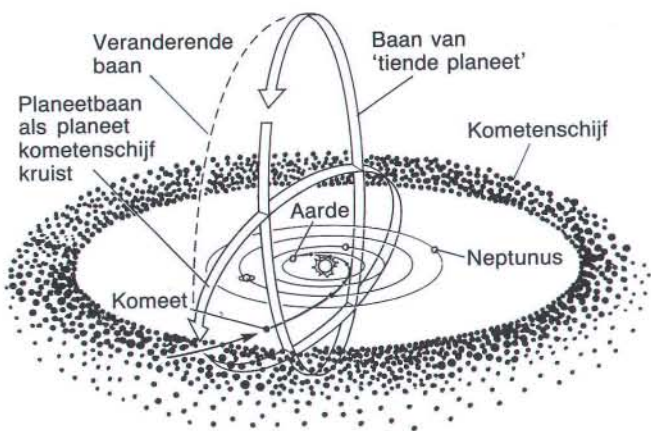
Met het apparaat kan in 4 à 5 dagen één hectare bewerkt worden; het duurt drie keer zo lang als met de hand strooien. Volgend jaar moet in de praktijk onderzocht worden of de grotere opbrengst opweegt tegen de extra kosten van een langere werktijd. Die kans zit er wel in, want de arbeidslonen zijn laag in tropische landen en het injecteren gebeurt nadat de drukste tijd van het overplanten achter de rug is. De aanschafprijs van een ureuminjector wordt geschat op ruim tweehonderd gulden. Proeven op een testbank tonen aan dat het apparaat ongeveer vijf jaar mee zal gaan.

Voor de toepassing wordt vooral aan landen in het Verre Oosten gedacht: bijvoorbeeld de Filipijnen, India, Bangla Desh, Indonesië en Vietnam. De proeven sluiten aan op bestaande projecten in die landen. De proefnemingen zullen nog een jaar in beslag nemen. Daarna kan de ureuminjector in de handel gebracht worden.

(Persbericht Landbouwwuniversiteit Wageningen)

Tiende planeet

Een onderzoeker van de NASA heeft het sterke vermoeden dat er een tiende planeet bestaat, die een ruime baan om de zon beschrijft in een vlak ongeveer loodrecht op de banen van de overige planeten. De baan van de planeet is zo groot dat hij maar eens in de 700 à 1000 jaar in de buurt van de zon en de overige planeten komt. Dr John Anderson, de betreffende onderzoeker, concludeert het bestaan van zo'n tiende planeet uit de analyse van series langdurige astronomische waarnemingen en uit het gedrag van de ruimtevaartuigen Pioneer 10 en 11. Die



Zo ongeveer zou men zich de baan van een tiende planeet moeten voorstellen.

twee interstellare ruimteschepen zijn nu bij de buitenste planeetbanen aangeland. Ze zijn een uiterst gevoelig meetsysteem voor zwaartekrachteffecten.

Sterrenkundigen zijn al lang op zoek naar een tiende planeet of 'object' buiten de banen van Neptunus en Pluto. Er zijn gegevens dat de banen van de buitenplaneten worden beïnvloed door één of andere voorwerp. Lange tijd is gedacht dat Pluto zelf voor die beïnvloeding verantwoordelijk was. In 1978 is echter gevonden dat Pluto, en het maantje Charon, niet zwaar genoeg zijn om de waargenomen 'verstoring' te veroorzaken.

Het klinkt op het eerste gezicht een beetje vreemd, maar Anderson kan uit het gedrag van de twee Pioneers alleen maar concluderen dat de tiende planeet momenteel geen invloed heeft. Analyse van oudere positiebepalingen van de buitenplaneten, tot 200 jaar geleden, geeft echter onverklaarde afwijkingen te zien die significant zijn ten opzichte van de meetnauwkeurigheid. Die afwijkingen verdwijnen na 1910. De meeste astronomen die van het bestaan van die afwijkingen op de hoogte zijn, hebben steeds aangenomen dat de afwijkingen tegenwoordig nog steeds bestaan. Anderson heeft dus eigenlijk de afwezigheid van iets gevonden.

Het laatste woord is over de tiende planeet nog lang niet gesproken of geschreven. Zolang er niets wordt waargenomen zal zijn bestaan wel niet voor zeker worden aangenomen. Een indirect bewijs is ook zeer moeilijk te leveren, ook al omdat de omlooptijden van de buitenplaneten zo lang zijn: Uranus doet bijvoorbeeld 84 jaar over een rondje rond de zon; Neptunus neemt er 165 jaar de tijd voor.

(NASA-persbericht)

Kijken naar elektriciteit

De wereld achter het stopcontact en onverwachte elektrische zaken worden toegelicht op de tentoonstelling 'Kijken naar elektriciteit' die van 5 tot en met 26 september in de Aula van de Technische Universiteit Delft is te zien. Er is aandacht voor de mogelijke vormen van elektriciteitsopwekking, voor het transport, de distributie en het verbruik van elektriciteit, terwijl ook toekomstige ontwikkelingen als supergeleiding aan de orde komen. Vele, vaak werkende modellen maken de tentoonstelling, die qua kennisniveau op het voortgezet onderwijs is gericht, interessant.

De Aula van de Technische Universiteit Delft staat aan de Mekelweg 5, 2628 Delft. De tentoonstelling is open van maandag tot en met zaterdag van 10 tot 16 uur.

Vanaf station Delft is de Aula te bereiken met bus 63 en 129. Inl. ☎ 015-786495.

Genenbank opgericht

Het Nederlands landbouwkundig onderzoek zal een blijvende bijdrage moeten leveren aan de internationale inspanning om de genetische variatie in en voor cultuurgewassen te behouden. Deze genetische variatie wordt mondiaal bedreigd waardoor zowel de natuurlijke evolutie als de mogelijkheid cultuurgewassen te veredelen in het gedrang komen.

Dit stelde dr K. Verhoeff, directeur van de Directie Landbouwkundig Onderzoek (DLO), tijdens de officiële ingebruikneming van de genenbank van het Centrum voor Genetische Bronnen Nederland (CGN) te Wageningen. Deze biedt de mogelijkheid zaden van duizenden rassen zeer langdurig te bewaren.

Een modern documentatiesysteem draagt ertoe bij dat de opgeslagen rassen ook daadwerkelijk gebruikt kunnen worden voor het veredelen van cultuurgewassen. Nederland heeft op zich genomen zorg te dragen voor het verzamelen, opslaan en in stand houden van sla, kool, ui, bieten en aardappelen. Met zeer veel landen wordt intensief samengewerkt om zowel de wilde voorouders als de daaruit ontwikkelde cultuurgewassen in zijn grote variatie van zogenaamde landrassen te behouden. Het CGN en de gelieerde DLO-instituten voor landbouwkundig onderzoek maken deel uit van een wereldomvattend netwerk van genenbanken.

(Persbericht Ministerie van Landbouw en Visserij)

De vragen die wij je maandelijks als prijsvraag voorschotelen zijn steeds afkomstig van de organisatoren van de wiskunde-, natuurkunde- en scheikunde-olympiades. Ieder najaar worden de VWO-scholen in Nederland in de gelegenheid gesteld leerlingen die dat willen aan te melden voor deze olympiades. Als je meedoet neem je deel aan een voorronde in februari, die in je eigen school wordt gehouden. Van de resultaten wordt landelijk een ranglijst gemaakt. De 40 besten gaan naar de volgende ronde, het centraal schriftelijk eindexamen. Wie daarna in de top-20 zit, wordt uitgenodigd voor de finaleronde, waar nog een week van voorbereiding aan voorafgaat. De beste vier mogen naar een internationale olympiade om de krachten te meten met buitenlandse leerlingen. Hieronder noemen we de finalisten van de diverse olympiades; tussen haakjes de naam van de school en de docent.

Natuurkunde-olympiade

1. Bas de Bakker (Montessori Lyceum Amsterdam, J.B.C. Hulshoff).
2. Robert Nix (RSG Schoonoord, Zeist, mw. L. Heilmel-Robeer).
3. Marc de Jong (Geert Groote College, Deventer, A. Groenewold).
4. Oscar Noordman (idem).
5. Dirk de Vries (Stedelijk Gymnasium, Nijmegen, C.J.W. Vennekens).
6. Hervé Kuijten (Bisschoppelijk College, Weert, W.J.T. Bouwman).
7. Sjoerd Stallinga (Nederrijn College, Arnhem, J.A. Schaffers).
8. Hans de Jong (Lauwers College, Buitenpost, mw. L. Zandberger).
9. Hans Berends (Willen de Zwijger College, Bussum, P. Klein).
10. Robert Klein Douwel (Pius X College, Almelo, A.G.M. Hillige).



De winnaars van de chemie-olympiade met staatssecretaris Ginjaar.

11. Patricia Ausems (Stedelijk Gymnasium, Breda, M. van Dam).
12. Pim Vijfhuizen (Meandercollege, Zwolle, E.J. Janssen).
13. Martin Pikaart (Christelijk College, Veenendaal, L.J. van Berkel).
14. Evert-Jan van der Meulen (idem).
15. Paul Bastiaansen (Katholieke Scholengemeenschap, Etten-Leur, J. Gelderblom).

Scheikunde-olympiade

1. Jan-Kees van der Waal (Develstein College, Zwijndrecht, P. Batelaan).
2. Gerard Egelmeers (Anton van Duinkerken College, Veldhoven, J. de Leest).
3. Johan Hopman (Coornhert Gymnasium, Gouda, A.C.W. Bunnik).
4. Arno Breunese (Menso Alting College, Hoogeveen, K.J. van der Laan).
5. Kees van Dusseldorp (Gereformeerde Scholengemeenschap, Amersfoort, H. Luth).
6. Marc Lankhorst (Scholengemeenschap Holten, H. Kloosterboer).
7. Pim Vijfhuizen (Meandercollege, Zwolle, J. Bor).
8. Jean-Jacques Hering (Rombouts College, Brunssum, J.G.C. Wanders).
9. Herbert Smorenburg (College

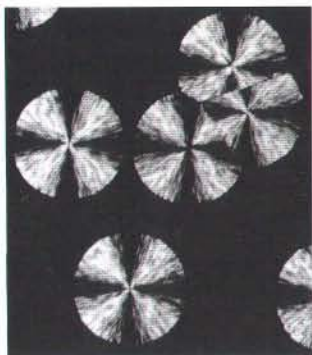
Haneveld, Heemstede, J.A. Zwetsloot).

10. Henk Pol (Menso Alting College, Hoogeveen, A.C.W. Bunnik).

Wiskunde-olympiade

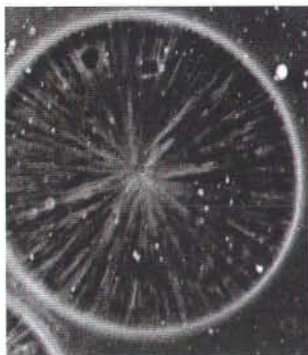
1. Roel Janssen (Joh. Calvijnylyceum, Kampen, P. v.d. Boomgaard).
2. Joris van der Hoeven (Het Amsterdams Lyceum, Amsterdam, A.J.W. Kuiper).
3. Henk Angerman (Winschoter Scholengemeenschap, Winschoten, D.H. Algera).
4. Mark van Hoey (Peelland College, Deurne, P. Geboers).
5. Reyer Gerlagh (Christelijk Lyceum, Zeist, S. Boonstra).
6. Gerard Egelmeers (Anton van Duinkerken College, Veldhoven, R. du Long).
7. Hoang Nguyen (Thomas à Kempis College, Zwolle, G. Lieveer).
8. Marc de Jong (Geert Groote College, Deventer, H. Zunnberg).
9. Hugo Laurman (Scholengemeenschap Blaise Pascal, Spijkenisse, hr. Schouten en Zweers).
10. Chris Dekker (Scholengemeenschap Amersfoortseberg, Amersfoort, D. Kayser).
11. Bas van de Heuvel (Christelijk Lyceum, Dordrecht, G. van der Beek).

Vragen?



De toetsvragen hieronder zijn bedoeld voor gebruik in het onderwijs. Iedere maand in het schoolseizoen levert Natuur & Techniek een serie vragen bij één van de artikelen met de bedoeling het blad nog beter bruikbaar te maken in het onderwijs. Deze keer gaan de vragen over het artikel 'Polymeerchemie' op blz. 624-645, ze zijn opgesteld door drs A.J. Mast en drs J. Bouma, vakdidactici scheikunde aan de Vrije Universiteit in Amsterdam.

1. Geef het verschil aan tussen
a) homopolymeren en copolymeren
b) polymeermengsels en composietmaterialen.
2. Leg uit hoe een kationische/een anionische propagatie verloopt.
3. Geef een voorbeeld van een stof, die uit een polyester is opgebouwd.
4. Laat zien, dat een polymeermolekuul met een relatieve molekuulmassa van 280 000 overeenkomt met 10 000 monomeermolekulen.
5. Wat verstaat men onder de conformatie van een macromolekuul?
6. Geef voorbeelden van laagmoleculaire stoffen.



7. Noem enkele klassieke vinylpolymeren.
8. Leg uit (op molekulaair niveau) wat er gebeurt bij verweking van een plastic beker.
9. Wat is de elasticiteitsmodulus E? Wat voor merkbaar gevolg heeft het, als deze groter wordt?
10. Verklaar, waarom E sterk afneemt bij toenemende temperatuur, wanneer het amorf materiaal van een glasachtig naar een rubberachtig systeem overgaat. Verklaar de tweede afname van E bij verdere temperatuurverhoging.
11. Geef aan, op welke wijze polymeermolekulen aan elkaar geknoopt kunnen worden.
12. Leg uit waarom E zal toenemen bij een toenemende verknopingsgraad.
13. Hoe kun je je op moleculaire schaal semikristallijne stoffen voorstellen? Licht je antwoord met een tekening toe.
14. Waardoor wordt de conformatie, die een polymeermolekuul aanneemt, bepaald?
15. Geef oorzaken aan, waardoor de kans op roosterfouten bij

macromoleculaire stoffen groter is dan bij laagmoleculaire stoffen.

16. Welke eenheid heeft de kristalliniteit?
17. Wat is het gevolg voor de glastoestand, indien $T_v > T_g$?
18. Leg voor gekristalliseerde polymeren uit, welke relatie bestaat tussen vormvastheid en de hoge modulus boven T_g .
19. Waardoor wordt de treksterkte in de verschillende richtingen van gekristalliseerde polymeren bepaald?
20. Teken een deel van het copolymeer van styreen en butadien.



Foto van de maand

P.P.M. van Soest stuurde deze foto van het operagebouw in Düsseldorf in. De jury vond het niet zozeer een samengaan van natuur en techniek als wel een tegenstelling. Dat was geen bezwaar om hem tot 'Foto van de maand' uit te roepen. De inzender ontvangt Natuur & Techniek een jaar lang gratis.

Nieuwe inzendingen zijn steeds welkom. In haar maandelijks beoordelingssessie kiest de jury niet alleen de winnende foto, maar bepaalt van de overige inzendingen of ze nog een kans maken in de volgende beoordeling.

Nieuwe inzendingen zijn welkom.
Adres:
Natuur & Techniek
Foto van de Maand
Postbus 415
6200 AK Maastricht

Oplossing juni

Gezien het grote aantal inzendingen en de zeer hoge verhouding goede/foute oplossingen heeft het probleem van de jarige Nicolaas met zijn spaarpot voor bijna niemand problemen opgeleverd. Nicolaas kreeg op zijn verjaardag een spaarpot met 10 cent. Iedere week daarna krijgt hij dat beginbedrag erbij, maar steeds vermeerderd met 2 cent. De reeks wordt dus: 10, 12, 14, 16, 18 etc. Hoeveel weken na zijn verjaardag, was nu de vraag, kwam Nicolaas tot de ontdekking dat het bedrag in zijn spaarpot voor het laatst een kwadraat was.

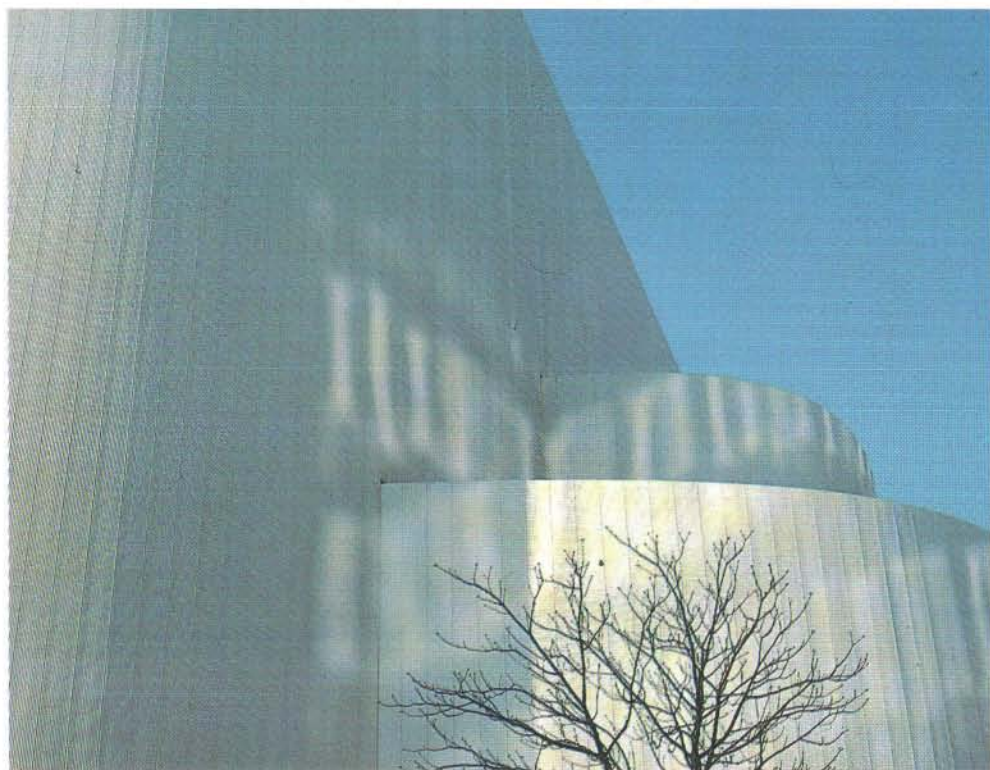
De formule $(n+1)(n+10)$, waarin n het aantal weken na de verjaardag is, was snel gevonden. Uit de eis $(n+1)(n+10) = q^2$, met

q een natuurlijk getal, vonden de meeste inzenders snel dat 15 weken na Nicolaas' verjaardag het laatste kwadraat voorkwam. Inzenders die de formulering 'in de 16e week' gebruikten dongen ook mee naar de maandprijs en kregen ook 6 punten voor de ladder. Eén opmerking nog over de inzendingen: er waren oplossingen waarin keurig, wiskundig, het bewijs geleverd werd dat hier ook echt sprake was van de laatste keer dat een kwadraat voorkwam. Er waren echter ook inzenders die beweerden het bewijs 'met de computer' geleverd te hebben. Dikwijls werden de programma's meegestuurd. Van een bewijs was in die gevallen nooit sprake. Men liet de rekenmachine het bedrag uitrekenen dat wekelijks in de spaarpot zat, nam

daarvan de wortel en liet onderzoeken of er een natuurlijk getal uitkwam. Men liet dit doen tot de som geld in de spaarpot te groot was om door de computer begrepen te worden, of, in één geval, tot men aannam dat Nicolaas na zoveel weken wel niet meer zou leven. De oplossingen met de juiste uitkomst zijn gewoon goedgerekend, daar niet van, maar van een bewijs is hier geen sprake.

Na loting ging de maandprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek, naar Jan Willemsen te Maastricht.

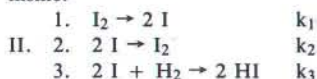
De ladderprijs gaat, na loting, naar Pieter Everhard in Nieuw-Millingen. Hij krijgt een gratis jaarabonnement op Natuur en Techniek.



De nieuwe opgave

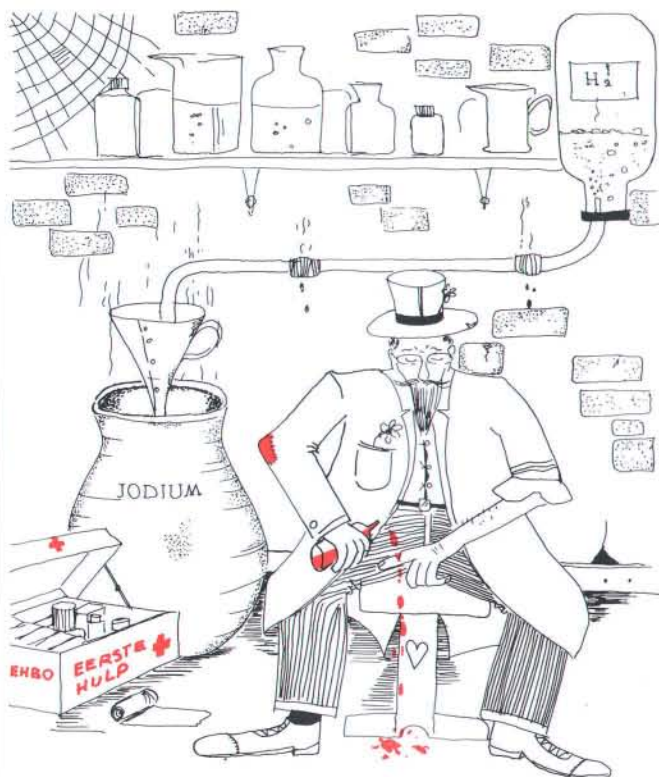
Vroeger werd voor de reactie tussen waterstof en jood het volgende reactiemechanisme aangenomen:

I. $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HI}(\text{g})$ k.
De reactie verloopt echter waarschijnlijk volgens het mechanisme:



b. Stel een reactiesnelheidsvergelijking op voor de vorming van HI in de veronderstelling dat de reacties 1. en 2. worden gecombineerd tot één evenwicht.

c. Onder welke voorwaarde(n) stemmen de resultaten, verkregen onder a. en b. met elkaar overeen?



a. Stel een reactiesnelheidsvergelijking op voor de vorming van HI voor elk der mechanismen I en II. Ga er daarbij van uit dat de atomaire joodconcentratie constant is. Definieer bovendien de reactiesnelheid als de concentratieverandering van HI per seconde, met andere woorden als $d(\text{HI})/dt$.

Deze opgave is ter beschikking gesteld door de organisatoren van de Nederlandse Chemie Olympiade.

Inzendingen moeten voor 10 september op de redactie zijn.

Adres:
Natuur & Techniek
Prijsvraag
Postbus 415
6200 AK Maastricht

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 99,50 of 1925 F.

Prijs voor studenten: f 77,50 of 1475 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 9,25 of 175 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

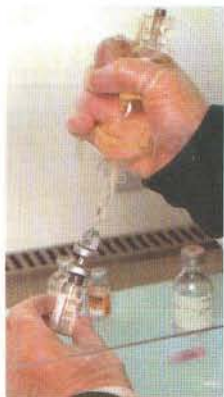
Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Kanker

Sinds men in de Tweede Wereldoorlog bij toeval voor het eerst tegen een geneesmiddel tegen kanker aanliep, zijn er vele nieuwe gevonden. Toch is hun toepassing niet altijd probleemloos, zoals dr M. Sluysen uit de doeken zal doen. Ook kankercellen kennen mechanismen die tot resistentie leiden.



ESO

Dit jaar bestaat de ESO 25 jaar. De ESO is een concreet stuk Europese samenwerking, de gezamenlijke exploitatie van een observatorium dat de, vanuit Europa onzichtbare, zuidelijke sterrenhemel bestudeert. G. Schilling bezocht de jubilaris op de kille maar kraakheldere hoogten van de Chileense Andes.

Supergeleiding Opgraven

De wereld van de vaste-stoffysica staat de laatste maanden op zijn kop na de revolutionaire ontdekking van de hoge-temperatuur supergeleiders. 'Hoge-temperatuur' in zoverre dat we praten over pakweg 100 K en dat is nog altijd knap koud. Prof dr R. Griessen legt uit wat er de laatste tijd aan de hand is.

Regelmatig kunt u in dit blad artikelen over archeologische onderwerpen lezen. Opgravingen onthullen veel details over onze voorouders: waarvan zij leefden, wat hun sociale relaties waren enzovoorts. Over hoe een opgraving in zijn werk gaat, schrijven A. de Haan, H. Sarfatij en H. ter Schegget.



Archaeobacteriën

Gedetailleerde biochemische analyses hebben de afgelopen jaren duidelijk gemaakt dat de evolutie van micro-organismen heel anders verlopen is dan men altijd dacht. Prof dr G.D. Vogels en drs

A.H.M. Rijpkema presenteren een nieuwere indeling en splitsen de prokaryoten in archaeobacteriën en eubacteriën en we maken kennis met organismen die in zoutpannen en heetwaterbronnen leven.



Trekkers

Veel dieren houden van reizen. In hun leven trekken ze van de ene plaats naar de andere. Soms hangt dat samen met de wisseling van de seizoenen;

vaak is de aanleiding minder duidelijk. Ing L. Michiels laat zien hoe tegenwoordig satellieten worden ingezet om trekkende dieren op hun reis te volgen.



Als u thuis iets wilt doen
aan kankerbestrijding,
dan kunt u morgen
beginnen.

Lees de folder maar die
het KWF bij u in de bus doet.

Als u iets meer wilt doen,
dan hebben wij nog een
goeie suggestie:

**GEEF
ALSTUBLIEFT.
'T IS MEÉR DAN
NODIG.**



De landelijke collecte voor de kankerbestrijding loopt van 24 augustus t/m 6 september 1987. Heeft u onze collectanten gemist, dan is uw giro-overschrijving alsnog van harte welkom.



Tientallen miljoenen zijn jaarlijks nodig voor opleiding, wetenschappelijk onderzoek, voorlichting, patiëntenbegeleiding en patiëntenverenigingen. Dit moet doorgaan en kan doorgaan als u weer meehelpt.

Koningin Wilhelmina Fonds voor de Kankerbestrijding.

Koningin Wilhelmina Fonds voor de Kankerbestrijding, Sophialaan 8, 1075 BR Amsterdam,
tel.: 020-640991. Giro: 26000, bankrekening: 70.70.70.007.
